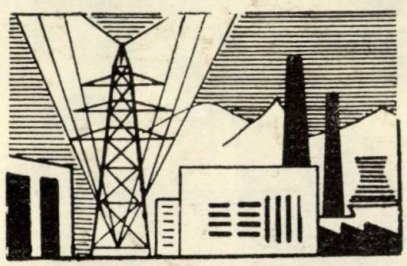


Ministerul Energiei Electrice

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

1970 DEC. 1

O.D.E. – M.E.E. este organul de specialitate pentru informarea și documentarea tehnică în ramura energetică.

O.D E. – M.E.E. editează și difuzează revistele tehnice de specialitate din ramura energetică.

O.D.E. – M.E.E. execută la cerere traducerea în orice limbă a materialelor și documentațiilor tehnice: articole, referate, prescripții, cataloage de produse, prospecte, cărți și alte lucrări de specialitate.

O.D.E. – M.E.E. editează și difuzează periodicele tehnice documentare privind ramura energetică.

O.D.E. – M.E.E. editează și difuzează publicațiile tehnice departamentale: prescripții tehnice (normative, regulamente, instrucțiuni, condiții tehnice, fișe tehnologice, norme interne), norme și călăuze de protecția muncii, studii tehnice, sinteze documentare etc.

O.D.E. – M.E.E. editează și difuzează materialele de popularizare și propagandă tehnică-economică: afișe, pliante, broșuri, albume, etc.

Abonați-vă la revistele și produsele periodice editate de oficiul nostru pentru a fi la curent cu toate noutățile tehnice ce apar în problemele de cercetare, proiectare, execuție și exploatare care interesează ramura energetică.

O.D.E. – M.E.E. BUCUREȘTI, str. GALAȚI 5-7, Sect. 2, telef. 15 16 28, 14 00 17

I. P. Informația — c. 5727

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 18 Nr. 11 Noiembrie

Cuprinsul

		Pag.
Popa, B.	**Procesul de reglare a debitului la injectoarele cu cameră de turbionare**	479—482
Istrate, I.	**Contribuţii la echilibrarea rotoarelor turbogeneratoarelor**	483—489
Carabulea, A.	**Algoritm pentru studiul influenţei reţelelor electrice trifazate asupra circuitelor de telecomunicaţii**	490—494
Giosan, Tr.	**Compensarea liniilor de energie electrică**	495—497
Măcriş, A.	**O metodă de cercetare operaţională cu multiple aplicaţii : ramificare şi frontiere (II)**	498—501
ENERGETICA PESTE HOTARE		
Wlezek, C.	**Dezvoltarea energeticii nucleare a R.F. a Germaniei în ansamblul energeticii mondiale**	502—511
CRONICĂ		
Manolescu G. şi Itoafă, Al.	**Simpozionul CEE—ONU privind utilizarea cercetării operaţionale în problemele planificării şi funcţionării marilor sisteme energetice**	512—516
Groza, L.	**Lucrările celei de-a 23-a sesiuni a Conferinţei Internaţionale a Marilor Reţele Electrice**	517—519
INFORMAŢII TEHNICE		

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, conf. dr. ing. V. I. NITU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

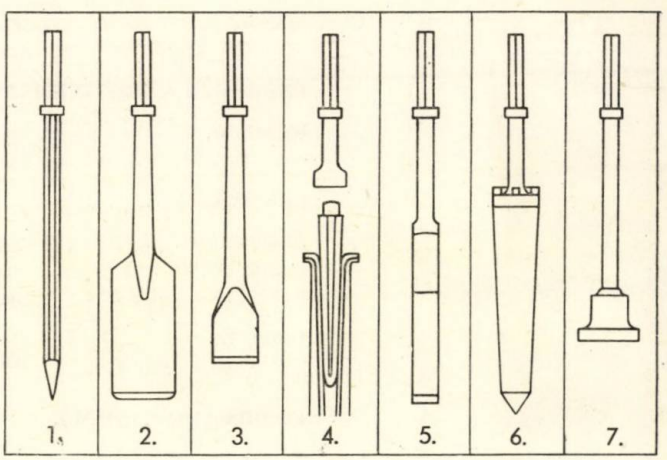
Perforează, secţionează, sapă sau sparge cu perforatorul versatil COBRA, apoi transportă-l la lucrarea următoare

Perforatorul (concasorul) cu benzină COBRA, fabricat de Atlas Copco, este o unealtă completă, uşor de manevrat, care accelerează tot felul de lucrări în gospodării agricole, pe şosele şi în locuri mai puţin accesibile, ca: săpare de şanţuri, de puţuri de prospectare, spargeri de pavaje, perforare de stîncă etc. Schimbarea uneltelor necesită doar cîteva secunde.
Cîntărind numai 25 kg, COBRA este uşor de manipulat şi uşor de transportat de la o operaţie la alta. Porneşte repede şi funcţionează în mod sigur pe orice vreme. Datorită carburatorului fără flotor, poate fi folosită în orice poziţie, de la verticală pînă la 45° peste orizontală.

O gamă largă de unelte uşor de schimbat

Desenele din dreapta arată cîteva dintre multiplele unelte standard disponibile. COBRA poate fi folosită şi ca motor primar pentru pompele de epuisment, pentru vibrarea betonului, pentru sfărîmare, vopsire prin şpriţuire şi pentru umflarea pneurilor.

Gama de utilaj care poate fi livrat de Atlas Copco include: compresoare portabile, perforatoare de rocă, foreze pe cărucior, ciocane şi pompe pneumatice.



1. Vîrf 2. Cazma 3. Daltă lată 4. Pană pentru dop şi flanşă de antrenare 5. Pană 6. Unealtă pentru puţ de prospectare 7. Unealtă pentru bătătorit

Atlas Copco

Stockholm, Suedia
Vînzări şi „service" în peste 100 de ţări

Pentru: Atlas Copco AB, S—10523 Stockhlom, Suedia.
Vă rog trimiteţi informaţii amănunţite — de preferat în
☐engleză ☐germană ☐franceză ☐rusă
Perforatorul (concasorul) COBRA
Numele .....
Funcţia .....
Intreprinderea .....
Adresa .....
10/70

PUBLICOM

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.176–50

Попа, Б.: **Процесс регулирования расхода форсунок с вихревой камерой**

Аналитическое рассмотрение влияния вязкости жидкого топлива на условия текучести и регулирования вихревых форсунок, а также взимных влияний выходного и вихревого сечений и регулирующего крана.

Energetica 18 (1970), № 11, стр. 479–482

ДК 62–755:621.313.322–81

Истрате, И.: **Уравновешивание длинных вращающихся роторов турбогенераторов**

Автор предлагает практический и оперативный метод уравновешивания длинных роторов (генераторов) в целях освобождения от трудоёмких работ, требующих больших затрат времени.

Energetica 18 (1970), №11, стр. 483–489

ДК 621.316:621.395

Карабуля, А.: **Алгоритм изучения влияния трёхфазных электрических сетей на линии связи**

Energetica 18 (1970), № 11, стр. 490–494

ДК 621.315.027

Жиосан, Тр.: **Компенсация в линиях электропередачи**

Автор теоретически рассматривает различные варианты компенсации в длинных линиях электропередачи в целях обеспечения контроля напряжения при колебаниях мощности.

Energetica 18 (1970), № 11, стр. 495–497

ДК 65.012.122

Мэкриш, А.: **Метод операционального исследования с многократными применениями: разветвления и границы (II)**

Energetica 18 (1970), № 11, стр. 498–501

ДК 621.039 (430.1)

Влезек, К.: **Развитие ядерной энергетики в Ф. Р. Германии в рамках мировой ядерной энергетики**

Energetica 18 (1970), № 11, стр. 502–511

ДК 621.31:517:061.3

Манолеску, Г. и Итоафэ, Ал.: **Симпозиум ЭЕК—ООН по использованию операционного анализа вопросов планирования и работы крупных энергетических систем**

Energetica 18 (1970), № 11, стр. 512–516

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.176–50

Popa, B. : **Regelung der Durchflussmenge bei Wirbelkammerbrennern**

Der Einfluss der Brennstoffviskosität auf die Fliess-und Steuerbedingungen von Brennern mit Rücklauf, sowie die gegenseitigen Beeinflussungen der Ausfluss-, Rückfluss- und Steuerventilquerschnitte werden untersucht.

Energetica 18 (1970), H.11, S. 479–482

DK 62–755 : 621. 313. 322–81

Istrate, I. : **Über Auswuchtung der Läufer von Turbogeneratoren grosser Leistung**

Der Verfasser schlägt ein praktisches Verfahren für Auswuchtung langer Generatorenläufer vor. Damit sollen langwierige mit grossem Zeitverlust verbundene Verfahren ersetzt werden.

Energetica 18 (1970), H.11, S. 483–489

DK 621. 316 : 621. 395

Carabulea, A. : **Algorhytmus für Untersuchung des Einflusses von Drehstromnetzen auf Fernsprechleitungen**

Der vom Verfasser aufgestellte Algorhytmus bringt einen neuartigen Beitrag auf dem Gebiet der Anwendung von Rechnern für Untersuchung von elektrischen Netzen.

Energetica 18 (1970), H.11, S. 490–494

DK 621. 315. 027

Giosan, Tr. : **Kompensierung elektrischer Leitungen**

Die für den Ausgleich langer electrischer Leitungen möglichen Lösungen werden theoretisch untersucht mit Rücksicht auf die Gewähreistung der Spannungsüberwachung bei Leistungsschwankungen.

Energetica 18 (1970), H.11, S. 495–497

DK 518. 3; 517

Măcriş, A. : **Ein operationnelles Untersuchungsverfahren mit vielfachen Anwendungsmöglichkeiten : Verzweigungen und Grenzen (II)**

Energetica 18 (1970) ,H.11, S. 498–501

DK 621. 039 (430.1)

Wlezek, C. : **Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft auf Kernenergiebasis in der Bundesrepublik Deutschland, im Rahmen der Aussichten im Weltmassstab**

Energetica 18 (1970), H.11, S. 502–511

DK 621.31 : 517 : 061. 13

Manolescu, G. und *Itoafă, Al.* : **CEE-ONU-Symposium über Anwendung operationeler Forschungen in Fragen der Auslegung und des Betriebs grosser Elektrischer Verbundnetze**

Energetica 18 (1970), H.11, S. 512–516

SOMMAIRE

CD 621. 176–50

Popa, B. : **Le contrôle du débit des injecteurs avec chambre de tourbillonement**

Examen analytique de l'influence de la viscosité du combustible liquide sur les conditons d'écoulement et de réglage des injecteurs avec retour ainsi que des influences réciproques entre les sections de sortie, de retour et le robinet de réglage.

Energetica 18 (1970), no. 11, p. 479–482

CD 62–755 : 621. 313. 322–81

Istrate, I. : **Méthode pratique pour équilibrer les rotors des turboalternateurs**

L'auteur a étudié une nouvelle méthode pratique pour équilibrer les rotors longs (rotors des alternateurs), afin d'éviter les méthodes compliquées dont l'application éxige beaucoup de temps.

Energetica 18 (1970), no.11, p. 483–489

CD 621. 316 : 621. 395

Carabulea, A. : **Algorithme pour étudier l'influence des réseaux électriques triphasés sur les lignes de télécommunication**

L'algorithme conçu par l'auteur apporte une contribution intéressante dans le domaine de l'emploi des calculateurs pour l'étude des réseaux électriques.

Energetica 18 (1970), no. 11, p. 490–494

CD 621. 315. 027

Giosan, Tr. : **Compensation des lignes électriques**

L'auteur fait une étude théorique des variantes de compensation des lignes électriques de grande longueur, en vue d'assurer le contrôle de la tension par rapport aux variations de puissance.

Energetica 18 (1970), no. 11, p. 495–497

CD 518. 3 : 517

Măcriş, A. : **Une méthode de recherche opérationnelle à applications multiples : ramifications et frontières (II)**

Energetica 18 (1970), no. 11, p. 498–501

CD 621. 039 (430.1)

Wlezek, C. : **Le développement de l'énergie nucléaire dans la République Fédérale de l'Allemagne dans l'ensemble de l'énergetique nucléaire mondiale**

Energetica 18 (1970), no. 11, p. 502–511

CD 621. 31 : 517 : 061. 3

Manolescu, G. et *Itoafă, Al.* : **Le symposium CEE-ONU sur l'utilisation de la recherche operationnelle dans les problèmes de planification et de fonctionnement des grandes réseaux électriques**

Energetica 18 (1970), no. 11, p. 512–516

CONTENTS

DC 621. 176–50

Popa, B. : **Flow control for burners with eddy-chambers**

This is an analytical examination of the influence of the viscosity of liquid fuel on flow and regulation conditions in return-type burners and of mutual influences exerted by the exit and return sections and the control valve.

Energetica 18 (1970), nr. 11, p. 479–482

CD 62–755 : 621. 313. 322–81

Istrate, I. : **Contributions to a method for balancing turbogenerator rotors**

The author has tried to achieve a practical operational method for balancing generator rotors in view to avoid other, timedemanding methods.

Energetica 18 (1970), nr. 11, p. 483–489

DC 621. 316 : 621. 395

Carabulea, A. : **Algorythm to study the influence of three-phase power systems on telecommunication lines**

The algorythm conceived by the author brings an interesting contribution in the field of the utiliation of cumputers for researches concerning electric systems.

Energetica 18 (1970), nr. 11, p. 490–494

DC 621. 315. 027

Giosan, Tr. : **The compensation of electric transmission lines**

Theoretic analysis of the alternatives of the compensation of long electric lines with the purpose to assure voltage control at variations of power.

Energetica 18 (1970), nr. 11, p. 495–497

DC 518. 3 : 517

Măcriş, A. : **A method of operational research with multiple applications : branchings and boundaries (II)**

Energetica 18 (1970), nr. 11, p. 498–501

DC 621. 039 (430. 1)

Wlezek, C. : **The development of nuclear power in the Federal Republic of Germany within the field of world-wide nuclear energetics**

Energetica 18 (1970), nr. 11, p. 502–511

DC 621. 31 : 517 : 061. 3

Manolescu, G. and *Itoafă, Al.* : **The EEC-UN Symposium about the utilization of operational research in the problems of the planning and operation of large power systems**

Energetica 18 (1970), nr. 11, p. 512–516

20 de ani de la primul plan decenal de electrificare

Împlinirea a 20 de ani de la adoptarea primului plan decenal de electrificare a fost marcată recent, pentru marele public, de ministrul energiei electrice, ing. Octavian Groza, printr-un articol publicat în ziarul „Scînteia" și un interviu acordat televiziunii. Au fost prezentate date și cifre comparative care au pus în evidență ritmul excepțional al dezvoltării producției și consumului de energie electrică din România, elementele tehnice energetice și economice caracteristice primului plan decenal și ale perioadei următoare de zece ani, progresele remarcabile înregistrate în concepția și realizarea obiectivelor hidro, termo și electroenergetice, precum și a unor sisteme cu folosințe complexe, dintre care cel de la Porțile de Fier se înscrie printre marile realizări mondiale ale genului. Amploarea pe care a luat-o rețeaua națională de transport și distribuție a energiei electrice și cuprinderea din ce în ce mai adîncă și mai densă a întregului teritoriu al țării în sistemul de alimentare cu energie electrică situează România printre țările cu ritmul cel mai ridicat de dezvoltare economică din ultimele două decenii.

Legat de considerațiile retrospective a fost prezentată, în lumina directivelor Congresului al X-lea al P.C.R., dezvoltarea de viitor pentru perioada 1971—1980, reliefîndu-se ca direcții principale caracteristice : concentrarea într-o măsură sporită a puterii în unități energetice tot mai mari, valorificarea în condiții economice a unor cantități crescînde de lignit, continuarea realizării de amenajări hidroenergetice de folosință complexă, introducerea folosirii energiei nucleare, extinderea substanțială a sistemului electroenergetic și încheierea acțiunii de racordare la acesta a tuturor satelor țării pînă în 1975. O atenție deosebită va fi acordată creșterii eficienței economice a investițiilor, exploatării optime a instalațiilor și scăderii în continuare a consumurilor specifice de combustibil la producerea energiei electrice.

Totodată, se subliniază, de la nivelul celor două decenii care s-au scurs, importanța hotărîrii Comitetului Central al P.C.R. din octombrie 1950 în favoarea dezvoltării prioritare a energeticii, precum și concepția clară și metoda științifică de abordare și promovare a acestei acțiuni atît în prima etapă de zece ani, cît și în planurile cincinale și decenale care au urmat.

Cititorilor revistei „Energetica", ca specialiști care vor fi angrenați în continuare în complexa acțiune de electrificare a țării, le sînt cunoscute, desigur, cifrele, datele și considerațiile privind dezvoltarea de pînă acum și perspectivele acestor acțiuni. De aceea nu se va reveni detaliat asupra lor. Colectivul de redacție al revistei, care timp de aproape 18 ani s-a străduit să sprijine schimbul de păreri și de experiență între specialiștii care elaborează studiile, proiectează și montează instalațiile energetice și le asigură funcționarea — specialiști al căror număr, calificare și competență s-au dezvoltat într-un ritm la fel de impresionant ca și cel al bazei materiale și a producției

de energie electrică —, dorește, la rîndul său, să sublinieze, în acest scurt editorial, aniversarea a douăzeci de ani de la aprobarea unui document atît de important pentru dezvoltarea energeticii și economiei românești.

La considerațiile făcute de ministrul energiei electrice, din retrospectiva celor 20 de ani care au trecut, am dori să adăugăm unele amintiri relative la lansarea acestei acțiuni, prin care s-au pus bazele industrializării și dezvoltării multilaterale a României moderne.

În urma preocupărilor expuse încă la Conferința Națională a Partidului Comunist Român din 1945, colective de specialiști, restrînse la început și apoi lărgite treptat, pînă la concentrarea organizată a activității în cadrul institutului de studii și proiectări energetice — creat între timp — au elaborat în faze succesive studiile energetice necesare prezentării unui proiect de plan de electrificare a țării. Acest proiect de plan a fost supus, la finele lunii septembrie-începutul lunii octombrie 1950, dezbaterii în cadrul unei sesiuni lărgite extraordinare a Academiei, în care a fost discutat în cinci comisii de specialitate. La 14 octombrie 1950, proiectul planului de electrificare a fost examinat de Biroul Politic al P.C.R., iar în ziua de 26 octombrie 1950 a fost aprobat în ședința plenară a Comitetului Central al Partidului Comunist Român.

În noiembrie 1950 au urmat hotărîrile Consiliului de Miniștri relative la planul de electrificare a țării și folosire a apelor din România, la construirea centralei hidroelectrice „V.I. Lenin" și la amenajarea bazinului Ialomiței, trecîndu-se astfel efectiv la demararea lucrărilor aferente.

Dacă, retrospectiv, este impresionant să se constate în 20 de ani o creștere a puterii electrice total instalate de la 740 MW la 7500 MW, a producției anuale de energie electrică de la 2,1 TWh la aproape 35 TWh, sau a producției anuale pe cap de locuitor de la 129,5 kWh în 1950 la 1700 kWh în 1970, este de înțeles cu ce emoție a fost primită în octombrie 1950 perspectiva creșterii producției de energie electrică în zece ani la 7 TWh, cifră care, în condițiile de atunci, reprezenta o dezvoltare extraordinară.

Profunda schimbare, declanșată cu atîta clarviziune, în domeniul energiei a fost întîmpinată de toți cei interesați cu un nemărginit entuziasm, care s-a transmis și menținut în continuare și care a contribuit și va contribui și în viitor la excepționala dezvoltare cantitativă și calitativă care situează energetica românească pe un loc de frunte pe plan mondial.

I. D. Stăneeseu, redactor responsabil

Procesul de reglare a debitului la injectoarele cu cameră de turbionare

Dr. ing. **B. Popa** *)

În articolul de faţă se prezintă rezultatele unor cercetări privind influenţa sortului de combustibil asupra mişcării de turbionare şi a procesului de reglare la un injector cu întoarcere.

Deoarece proprietatea fizică prin care combustibilii se deosebesc mai mult unul de altul este viscozitatea dinamică (diferenţele privind valorile densităţii şi ale tensiunii superficiale sînt mici), încercarea unui nou sort de combustibil va însemna schimbarea forţelor de frecare internă şi a pierderilor aferente ei.

În procesul de curgere din injectoarele cu cameră de turbionare trebuie menţionată mai întîi influenţa viscozităţii combustibilului asupra condiţiilor de curgere din cameră, adică modificarea debitului efectiv, a debitului recirculat şi a presiunii statice pe peretele frontal posterior al camerei de turbionare.

În studiul dependenţei debitelor injectorului cu întoarcere de această caracteristică a combustibilului, se remarcă mai întîi creşterea debitului de ieşire o dată cu creşterea viscozităţii dinamice [1]. Prin creşterea viscozităţii cresc forţele vîscoase şi pierderile prin frecare internă. Aceste pierderi sînt cu atît mai mari, cu cît gradientul vitezei într-o secţiune transversală a fluidului din camera de turbionare este mai mare; ele cresc, prin urmare, spre axa camerei, atingînd valori maxime în imediata apropiere a suprafeţei turbionului de aer. Drept consecinţă, viteza de turbionare scade, diametrul turbionului de aer scade de asemenea, ceea ce duce la majorarea secţiunii efective de lichid la ieşire şi deci la mărirea debitului.

Asupra debitului efectiv D_e influenţează, evident, şi geometria injectorului, rapoartele constructive d_e/d_c şi $z.\ f_t/d_c^2$ (pentru injectoare fără întoarcere), precum şi numărul, mărimea şi poziţia orificiilor de întoarcere (la injectoarele cu debit reglabil) (fig. 1).

Pentru a cerceta procesul de reglare în general şi influenţa viscozităţii în particular, trebuie precizat rolul funcţional al robinetului de reglare corelat cu ajutajul de ieşire şi orificiul (sau orificiile) de întoarcere.

În prima parte se examinează influenţa raportului dintre secţiunea de întoarcere S_r (constantă pentru un injector dat) şi secţiunea S_{rob}, variabilă a robinetului de reglare *VR*. În procesul de reglare se pot ivi două cazuri: $S_{rob} < S_r$ şi invers, $S_{rob} > S_r$; în funcţie de aceste situaţii se schimbă rolul orificiului de întoarcere şi al robinetului de reglare în realizarea debitului recirculat D_r (fig. 2).

Pentru poziţiile robinetului de reglare, pentru care secţiunea sa de trecere este mai mică decît secţiunea oferită lichidului prin orificiul de întoarcere, debitul recirculat rezultă din cunoaşterea secţiunii S_{rob} şi a vitezei de curgere a combustibilului prin această secţiune. Viteza de curgere prin robinet depinde de căderea de presiune. În acest caz mărimea şi modul de amplasare a orificiului (orificiilor) de întoarcere influenţează debitul indirect prin crearea presiunii în amonte de robinet, deci prin schimbarea vitezei de trecere prin robinet. Astfel, dacă orificiile de întoarcere, avînd o secţiune de trecere dată, sînt amplasate într-o zonă a peretelui posterior cu presiune statică mai ridicată (sistemul de întoarcere cu orificii multiple), creşte presiunea din conducta de retur, deci creşte şi debitul prin robinetul de reglare.

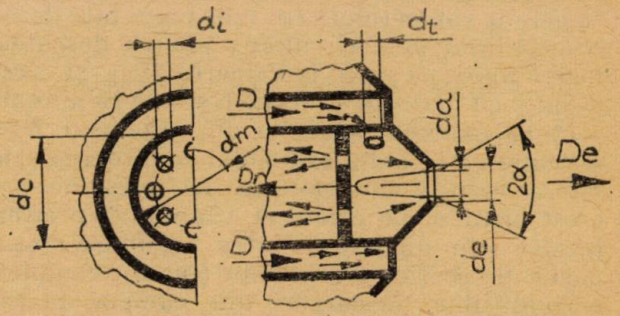


Fig. 1. Schema principială a injectorului cu cameră de turbionare cu orificii multiple de retur.

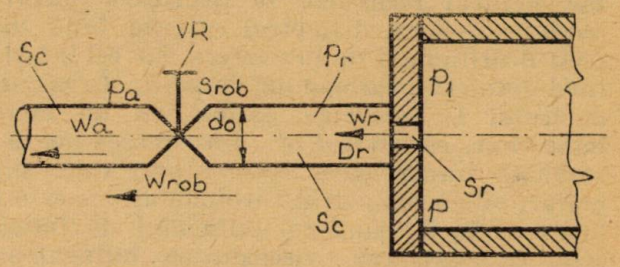


Fig. 2. Schema ansamblului reglării debitului.

Un efect similar se obţine prin mărirea diametrului în cazul orificiului central de întoarcere; cu cît acesta este mai mare, cu atît pe suprafaţa orificiului acţionează presiuni mai mari. În cazurile de mai sus secţiunea de retur S_r nu influenţează debitul (în sensul legii de continuitate, $D_r = S_r\, w_r$).

Pentru această situaţie, cînd $S_{rob} < S_r$, tendinţa de trecere a unui debit mai mare prin secţiunea mărită a orificiului de întoarcere (mărire care duce şi la majorarea presiunii de

*) Dr. ing. B. Popa este profesor emerit — Catedra de termotehnică a Institutului politehnic din Cluj.

retur) este influențată de robinetul de reglare, care permite să treacă numai debitul corespunzător deschiderii acestuia.

Factorul determinant pentru debitul de retur devine secțiunea orificiului de întoarcere, cînd această secțiune este mai mică decît secțiunea robinetului de reglare, $S_r < S_{rob}$; în acest caz, debitul recirculat este determinat efectiv de mărirea secțiunii de retur S_r și de viteza de retur (dependentă, la rîndul ei, de dimensiunile și poziția de amplasare a orificiului). Robinetul de reglare intervine în determinarea debitului prin stabilirea presiunii din conducta de retur. Această presiune este cu atît mai mică cu cît secțiunea efectivă de trecere a robinetului este mai mare față de cea a orificiului de recirculare; pentru deschideri foarte mari, ea scade la valoarea $P_{r\,min}$ și crește o dată cu pozițiile mai închise ale robinetului *VR*. În calculul debitului din produsul $S_r w_r$, secțiunea este cea a orificiului de întoarcere, iar viteza rezultă din căderea de presiune prin acest orificiu. La rîndul ei, căderea de presiune rezultă din diferența dintre presiunea statică medie pe secțiunea orificiului (funcție complexă a condițiilor de curgere din camera de turbionare) și presiunea din conducta de întoarcere, determinată de pierderile din robinetul de reglare. Pentru pierderi mici ale acestuia, presiunea din conducta de întoarcere se apropie de cea a mediului ambiant, iar căderea de presiune prin orificiul de retur depinde în cea mai mare măsură de presiunea statică medie pe secțiunea orificiului.

Valoarea raportului S_{rob}/S_r determină și caracterul curgerii lichidului prin secțiunile de trecere aferente.

În cazul injectorului cu orificiu central de întoarcere, pentru raportul S_{rob}/S_r supraunitar, debitul recirculat se realizează printr-o secțiune inelară, diametrul exterior fiind diametrul orificiului de întoarcere, iar cel interior fiind diametral turbionului de aer d_a. În calculul debitului D_r intervine, așadar, ca un factor important, raportul d_a/d_r. Întoarcerea poate fi realizată numai dacă acest raport este subunitar, adică diametrul turbionului de aer este mai mic decît diametrul orificiului de întoarcere. În acest caz, viscozitatea influențează asupra debitului D_r în același mod ca și asupra debitului D_e: mărirea ei determină creșterea secțiunii efective de trecere (prin micșorarea turbionului de aer) și conduce la debite recirculate mai mari.

Situația se schimbă la rapoarte S_{rob}/S_r subunitare. Debitul D_r se realizează și în acest caz (orificiul unic) printr-un inel de lichid. Totuși, mărimea secțiunii inelare (valoarea raportului d_a/d_r) nu mai reprezintă un element de calcul al debitului D_r, acesta fiind determinat de poziția robinetului de reglare și de secțiunea de trecere a acestuia. Secțiunea S_{rob} nu este inelară, ci plină, iar debitul recirculat scade o dată cu mărirea viscozității. Turbionul de aer nu pătrunde pînă la robinet (acesta, din motive constructive, fiind așezat la distanțe suficient de mari de peretele frontal al injectorului). Rezultă, pentru acest caz, scăderea domeniului de reglare a debitului prin majorarea debitului de ieșire (viscozitatea mărește secțiunea efectivă la ieșire) și micșorarea debitului recirculat (viscozitatea mărește pierderile prin frecare și scade viteza de trecere prin secțiunea S_{rob}).

Analitic, aceste constatări se explică astfel (fig. 2):

$$w_r \cdot S_r = w_{rob} \cdot S_{rob} = w_a \, S_c .$$

Pe de altă parte,

$$w_r = \varphi_v \sqrt{2 \, \frac{p - p_r}{\rho}} ,$$

coeficientul de viteză $\varphi_v = \dfrac{1}{\sqrt{1 + \xi_r}}$,

deci

$$w_r = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_r}} \sqrt{2 \, \frac{p - p_r}{\rho}} ,$$

de unde

$$\frac{p - p_r}{\rho} = (1 + \xi_r) \frac{w_r^2}{2} .$$

Deoarece

$$w_r = \frac{w_{rob} \cdot S_{rob}}{S_r} ,$$

rezultă că

$$\frac{p - p_r}{\rho} = (1 + \xi_r) \left(\frac{S_{rob}}{S_r} \right)^2 \frac{w_{rob}^2}{2} . \qquad (1)$$

Concomitent cu aceasta, căderea de presiune $p_r - p_a$ provocată de robinet este exprimată prin

$$\frac{p_r - p_a}{\rho} = \xi_{rob} \frac{w_a^2}{2} ,$$

și întrucît

$$w_a = \frac{S_{rob}}{S_c} w_{rob} ,$$

se obține:

$$\frac{p_r - p_a}{\rho} = \xi_{rob} \left(\frac{S_{rob}}{S_c} \right)^2 \frac{w_{rob}^2}{2} . \qquad (2)$$

Adunînd relațiile (1) și (2),

$$\frac{p - p_a}{\rho} = (1 + \xi_r) \left(\frac{S_{rob}}{S_r} \right)^2 \cdot \frac{w_{rob}^2}{2} + \xi_{rob} \left(\frac{S_{rob}}{S_c} \right)^2 \cdot \frac{w_{rob}^2}{2} ,$$

sau

$$\frac{p - p_a}{\rho} = \frac{w_{rob}^2}{2} \left(\frac{S_{rob}}{S_r} \right)^2 \left[1 + \xi_r + \xi_{rob} \left(\frac{S_r}{S_c} \right)^2 \right] ,$$

de unde

$$w_{rob} \cdot S_{rob} = D_r = \frac{S_r \sqrt{2\,\frac{p - p_a}{\rho}}}{\sqrt{1 + \xi_r + \xi_{rob}\left(\frac{S_r}{S_c}\right)^2}}. \quad (3)$$

Din (3) se vede că debitul recirculat D_r depinde de următorii factori :

S_r — secțiunea orificiului (orificiilor) de recirculare ;

$\frac{p - p_a}{\rho}$ — diferența de presiune dintre punctele situate pe fundul camerei de turbionare și un punct la ieșirea din robinetul de reglaj (p_a).

Dacă p_a = const., factorul care influențează debitul D_r va fi în mod exclusiv p, care mai depinde și de valoarea lui S_r.

Debitul D_r scade datorită următorilor factori :

ξ_r — coeficientul de pierdere locală al orificiilor de ieșire din perete; în general, cînd acestea au muchii ascuțite, se poate admite $\xi_r = 0{,}06$;

ξ_{rob} — coeficientul de pierdere locală dat de robinet, care variază între valorile extreme : $\xi_{rob} = \infty$ pentru poziția complet închis și $\xi_{rob} = \xi_{min}$ pentru poziția complet deschis.

Raportul $\frac{S_r}{S_c} = \left(\frac{d_r}{d_0}\right)^2$ are influență prin puterea la care intră în relație.

Dacă se are în vedere curba calitativă de variație a lui ξ_{rob} în funcție de deschiderea robinetului (fig. 3), se observă că $D_r \approx 0$ pentru valori foarte mari ale ξ_{rob} și depinde în mod direct numai de ξ_{rob}. Pentru valori minime ale lui ξ_{rob} (care înmulțite cu $(S_r/S_c)^2$, deci $(d_r/d_0)^4$, dau valori neglijabile), debitul recirculat depinde numai de S_r, adică de secțiunea orificiului de întoarcere.

Legat de posibilitățile de reglare, intervine, pentru un injector dat, și valoarea raportului constructiv S_e/S_r, care determină — la o deschidere a robinetului — cîtul dintre debitul de ieșire și cel total. Valoarea maximă a debitului $D_{r\,max}$ corespunde poziției deschise a robinetului, presiunea p_r căpătînd valoarea minimă $p_{r\,min}$.

Pentru evidențierea dependenței procesului de reglare de parametrii constructivi ai injectorului cu orificiul de întoarcere central, se studiază variația funcției $m = f(S_e/S_r)$, m fiind raportul dintre debitul recirculat și debitul total intrat în injector. Întrucît la aceste injectoare secțiunea de întoarcere este totdeauna mai mare decît secțiunea de ieșire, raportul S_e/S_r cunoaște valori extreme între S_e/S_c (S_c fiind secțiunea transversală a camerei de turbionare) și unitate. Se admite, de asemenea, că pentru valori mari ale raportului S_e/S_r secțiunea efectivă a robinetului de reglare complet deschis este mai mare decît secțiunea orificiului de întoarcere.

Micșorarea raportului S_e/S_r înseamnă, pentru o aceeași valoare a secțiunii de ieșire S_e,

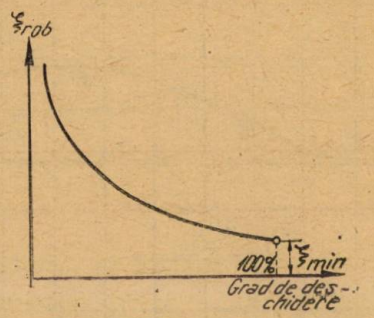


Fig. 3. Variația calitativă a coeficientului de pierdere a robinetului.

mărirea secțiunii orificiului de întoarcere, deci realizarea unor debite recirculate din ce în ce mai mari. Debitul D_r crește nu numai datorită măririi secțiunii S_r, ci și datorită majorării căderii de presiune prin orificiul de retur, orificiul de întoarcere mărit acoperind porțiuni din peretele frontal posterior de valori mai mari ale presiunii statice.

Trebuie observată și o tendință opusă în variația raportului m funcție de simplexul S_e/S_r, și anume tendința de micșorare a acestuia o dată cu majorarea secțiunii de retur. La diametre de întoarcere mai mari, crește suprafața de contact între lichidul din camera de turbionare, aflat în intensă mișcare de turbionare, și lichidul din conducta de retur ; datorită forțelor vîscoase apare un proces de transmitere de impulsuri prin secțiunea de retur. Această transmitere de impulsuri consumă din potențialul energetic al mișcării de turbionare, ceea ce duce la micșorarea turbionului de aer și majorarea secțiunii efective de trecere prin ajutajul de ieșire și, deci, a lui D_e. Astfel, o dată cu mărirea diametrului de retur apar factori care se opun creșterii raportului de reglare m. Ca rezultat al celor două tendințe contrare, descreșterea raportului S_e/S_r duce la început la creșterea accentuată a lui m, creștere care devine apoi mai puțin accentuată, curba apropiindu-se de un maxim (fig. 4). Maximul raportului de reglare apare la o astfel de valoare a simplexului S_e/S_r, pentru care secțiunea de retur este egală cu secțiunea efectivă de trecere a robinetului de reglare deschis. Începînd din acest moment, o majorare mai departe a secțiunii orificiului de întoarcere nu mai duce la mărirea directă a debitului recirculat, ci

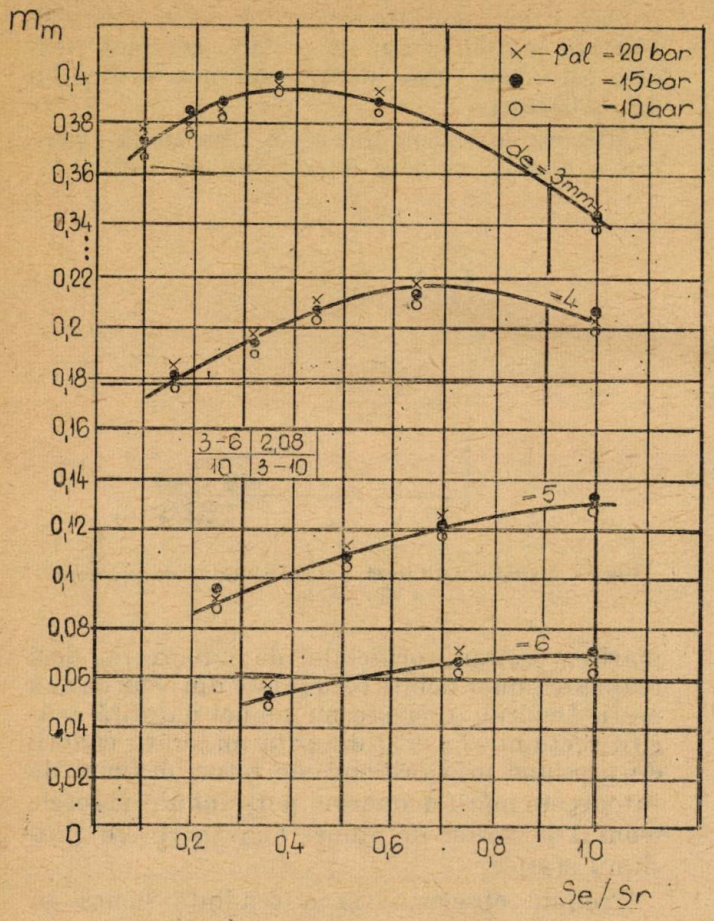


Fig. 4. Variaţia $m = f(S_e/S_r)$ pentru diferite diametre d_e.

doar la mărirea presiunii medii pe secţiunea orificiului. Cu alte cuvinte, mărirea în continuare a debitului recirculat intervine o dată cu atingerea egalităţii $S_r = S_{rob}$ numai datorită creşterii vitezei prin robinetul de reglare. În acelaşi timp, însă, efectul (secundar) de micşorare a raportului m apare mai evident, nefiind contrabalansat de creşterea debitului D_r la valori crescînde ale lui S_r. Aşa se explică de ce, o dată cu micşorarea valorii constructive S_e/S_r, raportul m creşte la început (creşterea lui D_r depăşeşte creşterea lui D_e), ajunge la o valoare maximă (efectul de majorare a debitului recirculat egal cu efectul de mărire a debitului de ieşire), după care descreşte (creşterea debitului de ieşire este preponderentă faţă de de cea a debitului recirculat).

Poziţia pe abscisă a maximului curbei, $m_{max} = f(S_e/S_r)$, depinde de diametrul ajutajului de ieşire şi de viscozitatea combustibilului. Creşterea acestor doi factori duce la deplasarea poziţiei maximului spre valori mari ale simplexului S_e/S_r (fig. 4).

În explicarea fenomenelor complexe legate de curgerea fluidului prin injector, trebuie luat în considerare faptul că debitele se realizează prin secţiuni inelare, care numai în cazuri particulare capătă forma unei secţiuni pline. Pe de altă parte, secţiunile efective depind de parametrii constructivi şi funcţionali ai injectorului, care determină şi mărimea presiunilor pe aceste secţiuni. De aceea, în studiul valorii şi poziţiei maximului curbei $m = f(S_e/S_r)$ vor fi comparate nu secţiunile S_r şi S_{rob}, ci debitele realizate prin acestea.

În curgerea prin injectorul cu orificiul de întoarcere central, o dată cu creşterea viscozităţii fluidului, valoarea maximă a lui m scade pentru un acelaşi injector şi aceeaşi presiune de alimentare. Această scădere este mai pronunţată pentru diametre mari ale ajutajului de ieşire.

Scăderea valorii maxime a raportului de reglare m este o consecinţă a influenţei forţelor vîscoase asupra procesului de curgere în general.

Bibliografie

[1] P o p a, B. *Contribuţii la studiul cîmpului presiunilor în camera turbionară a injectoarelor mecanice.* Institutul Politehnic Timişoara, 1969.

(Articol intrat în redacţie la 16 mai 1970)

Contribuții la echilibrarea rotoarelor turbogeneratoarelor

Ing. I. Istrate *)

Echilibrarea corpurilor, operație foarte laborioasă chiar atunci cînd se efectuează cu mașini speciale, se face prin excavarea corpului supus echilibrării sau prin adăugare de material. În acest articol se fac referiri numai la corpurile care au posibilitatea de adăugare de material pe planele frontale.

Deși la punerea lor în funcțiune corpurile sînt, în general, bine echilibrate, după o anumită perioadă de funcționare amplitudinile oscilațiilor cresc.

După ce se constată că fenomenul de creștere a vibrațiilor este o cauză a dezechilibrului, este necesar să se efectueze o reechilibrare. Întrucît se recomandă ca această operație să se facă fără demontarea rotorului, pe lagărele proprii, este necesar să existe posibilitatea fixării greutăților de probe și apoi a celor definitive. Acest mod de corectare a dezechilibrului corpului se numește, impropriu, echilibrare la turația nominală, avantajul ei principal constînd în scurtarea timpului de imobilizare a mașinii. Trebuie menționat, totuși, că operația de corectare a dezechilibrului unui turboagregat nu poate fi făcută decît la rotorul generatorului.

Evident, greutățile de echilibrare fixate în cele două plane frontale ale rotorului generatorului modifică (negativ sau pozitiv) valorile oscilațiilor din lagărele rotorului turbinei. De aceea corecția echilibrării la turație nominală trebuie făcută cu mare atenție.

1. Aspecte teoretice

Un corp este considerat echilibrat atunci cînd axa lui de rotație coincide cu axa principală de inerție. În acest caz, lagărele corpului sînt solicitate numai static, prin greutatea proprie a rotorului. În caz contrar, lagărele corpului sînt supuse și la solicitări dinamice, ale căror valori sînt funcție de mărimea dezechilibrului, care poate fi de natură statică, dinamică sau combinată. Prin dezechilibru static se înțelege o deplasare a axei principale de inerție, paralelă cu axa de rotație a corpului, creată de rezultanta forțelor libere care acționează asupra corpului. Prin dezechilibru dinamic se înțelege că asupra corpului acționează un cuplu de forțe care crează o rotire a axei principale de inerție ce întretaie axa corpului în centrul său de greutate.

Prin suprapunerea efectelor dezechilibrului static și ale celui dinamic se obține tipul generalizat de dezechilibru întîlnit în practică; în majoritatea cazurilor axa principală de inerție și axa corpului se intersectează în afara centrului de greutate (fig. 1).

Datorită corpurilor cu mase mari în rotație, precum și vitezelor periferice, deplasări destul de mici ale centrului de greutate produc forțe considerabile, care de multe ori sînt însoțite

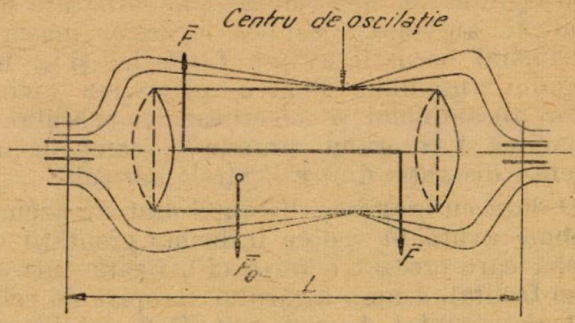


Fig. 1

și de zgomot. Aceste deplasări ale centrului de greutate au influență perturbatoare asupra mersului liniștit al mașinii.

Dacă rotorul se secționează imaginar într-o infinitate de discuri și se determină la fiecare disc centrul de greutate, se va constata că prin unirea acestor centre se obține o curbă în spațiu, situată la distanțe și pe direcții radiale diferite față de axa de rotație.

În cazul rotorului elastic, momentele forțelor centrifuge ale fiecărui centru de greutate luat separat pot fi atît de mari, încît pot provoca încovoieri ale rotorului. Aceste momente se numesc momente interioare, care schimbă distribuția maselor și a forțelor centrifuge inițiale. Deoarece forțele centrifuge și, implicit, încovoierile rotorului sînt funcție de turație, este posibil ca la turații diferite să apară deplasări diferite ale maselor. În aceste condiții pot apărea situații în care corpul să fie echilibrat la o singură turație, pentru că practic nu este posibil să se echilibreze toate centrele de greutate care descriu curba spațială.

Turația la care trebuie să se facă echilibrarea este turația nominală, în unele cazuri ajungîndu-se la un compromis dacă la altă turație, în apropierea turației critice, apar oscilații puternice.

La corpurile rigide (subcritice), procesul de echilibrare constă în înlăturarea efectului forțelor rezultante din fiecare plan de echilibrare, deplasînd centrul de greutate global pe axa de rotație și anulîndu-se simultan suma cuplurilor forțelor din diferite centre de greutate parțiale (ale discurilor secționate imaginar).

*) Ing. Ion Istrate este șeful Serviciului vibrații la Întreprinderea „Energoreparații".

2. Posibilităţi de eliminare a reacţiunilor din lagăre

Valoarea dezechilibrului unui rotor, elastic sau rigid, ce se manifestă asupra lagărelor, fiind de natură armonică, poate fi dată de relaţia :

$$Q = Q_0 \cos (\omega t + \varphi). \qquad (1)$$

Pentru fiecare dezechilibru este caracteristic un unghi de fază(φ), care trebuie interpretat cu mare atenţie, deoarece este punctul de plecare la o echilibrare. Reacţiunea (Q), de natură armonică, acţionează asupra lagărelor maşinii, producînd oscilaţii asupra fundaţiei şi a întregului ansamblu. Pentru micşorarea oscilaţiilor ansamblului se efectuează o echilibrare dinamică a rotorului, ţinîndu-se seamă de influenţa distanţei dintre lagărele acestuia.

O dată cu creşterea distanţei dintre reazeme, trebuie avută în vedere influenţa greutăţii de probă care creează o forţă (F), fixată într-un plan frontal, asupra lagărului apropiat de celălalt plan frontal. Această metodă de echilibrare în două plane frontale poate fi numită metoda participaţiilor, deoarece în calcule se ţine seamă de participaţia greutăţii de probă asupra dezechilibrelor din ambele plane frontale. Pentru cunoaşterea acestor vectori de influenţă, este nevoie să se fixeze cîte o greutate de probă în fiecare plan frontal, să se efectueze calculele grafoanalitice, destul de laborioase, pentru a se stabili poziţiile şi valorile greutăţilor definitive pentru fiecare plan frontal.

În acest fel este necesar ca turboagregatul să fie pus în mişcare de trei ori la turaţia nominală, iar calculele grafoanalitice consumă un volum de timp apreciabil. Pentru uşurarea calculelor de echilibrare dinamică, în locul forţei care acţionează, pe rînd, în fiecare plan frontal, s-a considerat necesară introducerea unui cuplu de vectori, ţinînd seamă de proprietăţile vectorilor cuplurilor.

2.1. *Cuplul de vectori*

Sistemul de vectori format din vectori paraleli, de mărimi egale şi sensuri contrare, constituie un cuplu de vectori (fig. 2). Din ecuaţiile de echilibru, vectorul rezultant al sistemului de forţe este nul, iar momentul rezultant este diferit de zero. Relaţia (3) pune în evidenţă următoarele particularităţi ale momentului cuplului :

— momentul unui cuplu este totdeauna diferit de zero ;

— momentul cuplului este independent de polul ales ; el nu depinde de poziţia polului 0, este un vector liber, avînd direcţia perpendiculară pe planul forţelor. Aceasta înseamnă că modulul momentului cuplului depinde numai de valoarea produsului ($b.F$) din relaţia (4), şi nu de valoarea fiecărui factor în parte :

$$(-\overline{F}) + (\overline{F}) = 0 ; \qquad (2)$$

$$\overline{M} = \overline{M}_1 + \overline{M}_2 = \overline{r}_1 \times (-\overline{F}) + \overline{r}_2 \times \overline{F} = \overline{r}_{1,2} \times \overline{F} ; \qquad (3)$$

$$\overline{M}_c = b.F. \qquad (4)$$

Din relaţia (4) rezultă că acelaşi moment (M_c) poate fi obţinut şi cu alte perechi de vec-

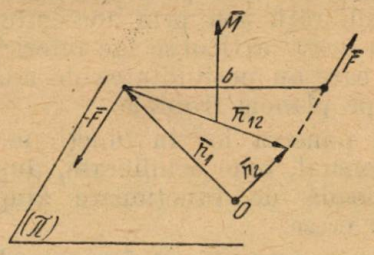


Fig. 2

tori ($-F_1$, F_1) şi cu alte braţe (b_1), trebuind numai să fie satisfăcute condiţiile :

a) planul vectorilor ($-F_1$) şi ($+F_1$) să fie normal, pe direcţia cuplului (M_c) ;

b) sensurile relative ale celor doi vectori paraleli (F_1) şi ($-F_1$) să verifice, împreună cu sensul momentului, regula şurubului ;

c) între mărimile vectorilor (F_1) şi ($-F_1$) şi braţele cuplurilor să se verifice relaţia :

$$M_c = b.F = b_1 F_1. \qquad (5)$$

Asupra corpului dezechilibrat acţionează totdeauna un cuplu care produce perturbarea agregatului (fig. 1). Acest cuplu trebuie anulat prin introducerea unui alt cuplu, în planele frontale, echivalent cu cuplul perturbator şi de sens contrar ca vector, ţinîndu-se seama de proprietăţile cuplului.

2.2. *Calculul reacţiunilor din lagăre*

2.2.1. *Reacţiuni egale aplicate în lagăre.* Cuplul perturbator dezvoltă în lagăre nişte reacţiuni care nu se cunosc nici ca valori, nici ca direcţii. Aceste forţe sînt variabile, transmiţînd impulsuri asupra lagărelor fundaţiei etc. şi conducînd la oscilaţii puternice ale agregatului.

Pentru cunoaşterea valorii acestor reacţiuni se consideră un corp în mişcare de rotaţie, perfect echilibrat, asupra căruia se aplică un cuplu $M_c = F.b$ (fig. 3). În timpul rotirii corpului, în reazemele *1* şi *2* se creează nişte reacţiuni ($R_{1,2}$) şi unghiuri de fază corespunzătoare, ca urmare a dezechilibrului aplicat corpului prin cuplul M_c.

Din analiza ecuaţiilor de forţe şi momente (fig. 3) se observă că, prin aplicarea unui cuplu

de forțe asupra unui corp echilibrat, reacțiunile din reazeme sînt egale (6′) și (7′):

$$(M_2) = 0;\ R_2 L + F b - F (L - a) = 0; \quad (6)$$

$$R_2 = F\left(1 - \frac{a+b}{L}\right); \quad (6')$$

$$(M_1) = 0;\ R_1 L + F a - F (L - b) = 0; \quad (7)$$

$$R_1 = F\left(1 - \frac{a+b}{L}\right). \quad (7')$$

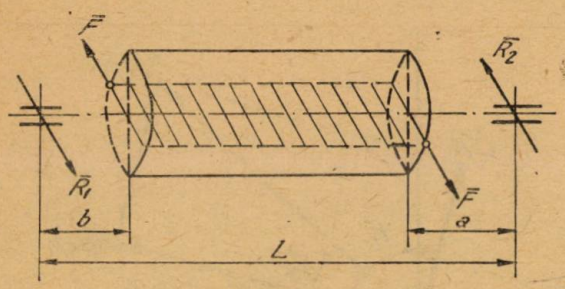


Fig. 3

Această proprietate a cuplului se va folosi la determinarea reacțiunilor unui corp dezechilibrat, utilizînd metoda suprapunerii efectelor, adică asupra unui corp dezechilibrat se aplică un cuplu M_c de valoare și direcție cunoscute.

Importanța cuplului aplicat M_c constă în faptul că reacțiunile cu care se acționează în reazeme sînt cunoscute și egale și influența lor este reciprocă asupra reazemelor. În cazul în care se face echilibrarea cu forțe diferite, în cele două plane frontale, unde participațiile acestora asupra celor două reazeme sînt diferite, se complică calculele corespunzătoare echilibrării corpului.

Proprietatea cuplului aplicat M_c simplifică considerabil operațiile calculelor necesare echilibrării și, după cum se va observa, este nevoi numai de două porniri ale turboagregatului.

2.2.2 *Reacțiunile forțelor dezechilibrante din corp.* Dezechilibrul unui corp se transmite asupra reazemelor, creînd niște reacțiuni care produc oscilații. Dezechilibrul corpului este un rezultat al neomogenității materialului, al unei execuții necorespunzătoare sau al unei cauze mecanice, motiv de apariție a excentricității e (fig. 4). Forța perturbatoare F_0 este direct proporțională cu excentricitatea sau neomogenitatea corpului.

O echilibrare este corectă numai atunci cînd există un echilibru de forțe și de momente, adică o echilibrare statică și dinamică.

Să considerăm că un corp se află în echilibru indiferent și că în timpul funcționării apar oscilații mărite în reazeme, datorită dezechilibrului dinamic și unui dezechilibru static admis (fig. 1).

Analiza ecuațiilor forțelor și momentelor se face pe figura 4, unde se presupune că se cunosc sensurile și mărimile forțelor, stabilindu-se mărimile reacțiunilor dinamice Q, conform relațiilor (8′) și (9′):

$$(M_2) = 0;\ Q_2 L + F_1 b - F_2 (L - a) - F_0 (b + c) = 0 \quad (8)$$

$$Q_2 = \frac{F_2 (L - a) + F_0 (b + c) - F_1 b}{L}; \quad (8')$$

$$(M_1) = 0; \quad Q_1 L + F_0 (L - b - c) + F_2 a - F_1 (L - b) = 0; \quad (9)$$

$$Q_1 = \frac{F_1 (L - b) - F_2 a - F_0 (L - b - c)}{L}; \quad (9')$$

Reacțiunile Q_1 și Q_2 sînt proporționale cu dezechilibrul inițial. Acest dezechilibru inițial este de natură oscilatorie armonică (1), unghiul φ fiind unghiul de fază, care este o caracteristică a corpului dezechilibrat.

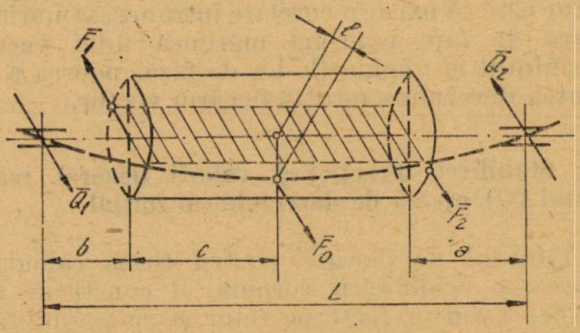


Fig. 4

Valoarea unghiului de fază rămîne practic constantă la variația valorii dezechilibrului fixat în același loc (fig. 5). Această proprietate este deosebit de importantă în practica echilibrării. Defazajul dezechilibrului nu este influențat de valoarea dezechilibrului, de gre-

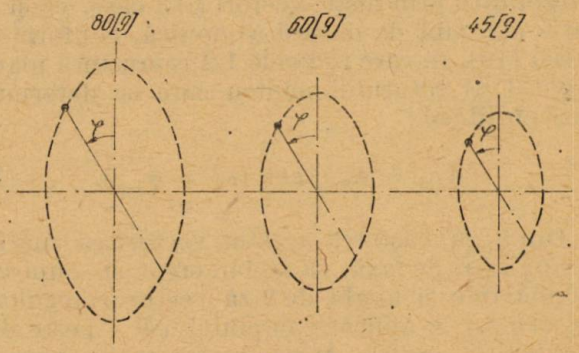


Fig. 5

utatea corpului dezechilibrat sau de fenomenul hidrodinamic al ungerii, ci numai de poziția dezechilibrului [5]. O dată cu schimbarea

poziției dezechilibrului, unghiul de fază se modifică chiar dacă dezechilibrul a rămas același ca valoare.

2.2.3. *Reacțiunile rezultante din reazemele corpului.* Pentru determinarea reacțiunilor rezultante din reazemele corpului, se utilizează metoda suprapunerii efectelor, analizate cu ajutorul figurilor 3 și 4.

În felul acesta, în fiecare reazem acționează cîte două reacțiuni — una creată de dezechilibrul inițial al corpului ($Q_{1,2}$), cealaltă de cuplul (M_c) — exprimate de relațiile (6′) și (7′). Aceste reacțiuni din fiecare reazem se compun, își modifică mărimea, direcția și sensul și deci se schimbă și unghiul de fază, deoarece s-a modificat direcția dezechilibrului rezultant, așa cum a fost explicat la punctul 2.2.2.

Este evident că pentru echilibrare nu trebuie să se cunoască valorile reacțiunilor rezultante din fiecare lagăr, ci este suficient să se cunoască niște mărimi relative (impulsurile mecanice ale reazemelor să fie traduse în mărimi electrice oarecare) sau valorile amplitudinilor. Important este să existe o corelare între aceste mărimi, care de fapt exprimă mărimea unui vector rezultant și unghiurile lor de fază, pentru a se putea determina poziția fiecărui vector.

3. Stabilirea direcției și valorii fiecărei reacțiuni (Q) creată de dezechilibrul inițial

Punctul de plecare pentru toate calculele necesare echilibrării corpului îl constituie un punct arbitrar fixat pe rotor și cu posibilități de observare sau antrenare în timpul rotirii rotorului. Cu ajutorul acestui punct fix se vor stabili prin sincronism valorile reacțiunilor din reazeme (în unități de dezechilibru), precum și unghiurile de fază aferente.

Pentru însușirea mai rapidă a etapelor problemei, se va considera că reacțiunile (Q) create de dezechilibrul inițial al corpului vor fi reprezentate prin niște vectori ($\vec{A}$), care, ca și relația (1), sînt de natură armonică, conform relației (10), în care indicele 1,2 reprezintă planul frontal al rotorului pentru care se determină dezechilibrul:

$$A_{1,2} = A_{01,2} \cos (\omega t + \varphi_{A1,2}). \quad (10)$$

După cunoașterea acestor vectori ca mărimi și unghiuri de fază, va trebui creat și cunoscut ca mărime și unghi de fază vectorul rezultant ca urmare a aplicării cuplului (M_c) peste dezechilibrul inițial. Acest vector se va nota cu ($\vec{B}$) și este exprimat de relația (11), unde $B_{01,2}$ este vectorul compus din dezechilibrul inițial:

$$B_{1,2} = B_{01,2} \cos (\omega t + \varphi_{B1,2}) \quad (11)$$

și cel impus de cuplul M_c, exprimat prin relația (12), datorită suprapunerii efectelor:

$$\vec{B}_{01,2} = \vec{Q}_{1,2} + \vec{R}_{1,2}; \quad (12)$$

$$C = C_{01,2} \cos (\omega t + \varphi_{C1,2}). \quad (13)$$

Prin compunerea relațiilor (10) și (11) se pot cunoaște valoarea, direcția și sensul vectorului de dezechilibru creat de reacțiunea R, corespunzătoare cuplului aplicat M_c (fig. 6 și relația 13).

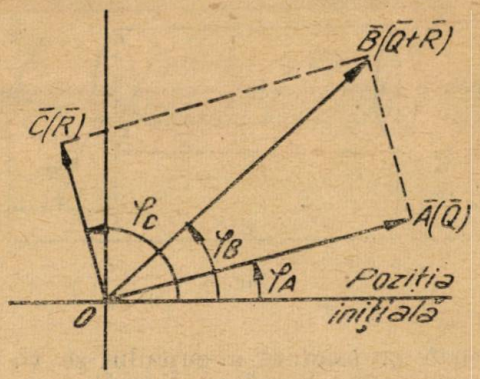


Fig. 6

După determinarea, ca mărime, direcție și sens, a vectorului $\vec{C}$, se stabilește direcția dezechilibrului inițial al corpului, ținîndu-se seamă de proprietatea unghiului de fază, expusă la punctul 2.2.2.

Pentru obținerea unui vector $\vec{C}$ cît mai mare, este necesar ca forțele F ale cuplului M_c să fie cît mai bine poziționate, astfel încît acest vector să se poată descompune după relația:

$$\vec{C} = \vec{B} - \vec{A}. \quad (14)$$

Pentru aceasta este necesar ca forța F să fie aplicată la un unghi φ conform (15) și (16):

$$\gamma_1 = \varphi_{A_1} + \beta \quad (15)$$

$$\gamma_2 = \varphi_{A_2} + \beta + 180°, \quad (16)$$

unde $\beta \geqslant 90$, tocmai pentru a se putea obține un vector rezultant $\vec{B}$ diferit ca mărime și unghi de vectorul inițial $\vec{A}$.

Vectorul $\vec{C}$ a fost creat de forța F, corespunzătoare cuplului aplicat M_c. Între acest vector și direcția forței F s-a format un unghi α. Dacă se ține seamă de faptul că unghiul de fază nu variază funcție de valoarea dezechilibrului, ci numai de poziția acestuia, unghiul α poate fi numit ca unghi invariabil pentru vectorul $\vec{C}$.

Această proprietate a unghiului α este deosebit de importantă pentru stabilirea dezechilibrului. Dacă se rotește simultan, cu aceeași viteză, vectorul $\vec{C}$ și direcția forței F pînă cînd

vectorul $\vec{C}$ se suprapune peste vectorul dezechilibrului inițial $\vec{A}$, direcția dezechilibrului corpului se află sub unghiul α față de direcția vectorului $\vec{A}$, iar greutatea pentru echilibrare se va aplica opus forței F, ce se găsește în poziția rotită (fig. 7).

Cu ajutorul figurii 7 se stabilește direcția pe care trebuie aplicată o forță pentru anularea

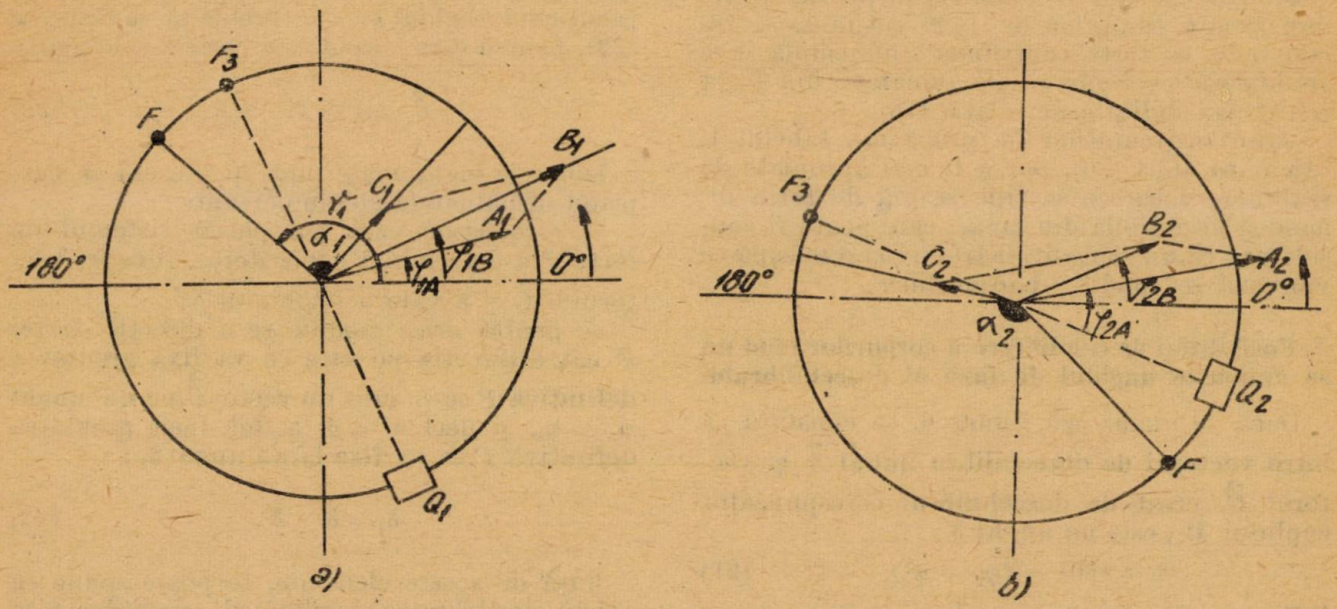


Fig. 7

reacțiunii Q. Determinarea valorii forței ce trebuie aplicată pe planele frontale se face cu relația (17), considerîndu-se că forța este direct proporțională cu dezechilibrul :

$$P = G\frac{OA}{OC}, \qquad (17)$$

în care :

- G este greutatea de probă cu care s-a creat cuplul M_c.
- OC — modulul vectorului dezechilibrului creat de greutatea G;
- OA — modulul dezechilibrului creat de greutatea P, care trebuie calculată și fixată pe planele frontale ale rotorului, pe direcția dezechilibrului Q și opus acestuia.

Aceste operații se fac pentru fiecare plan în parte, folosindu-se figura 7 și relația (17).

3.1. *Considerații privind aprecierea greutăților de probă necesare cuplului aplicat*

Greutățile de probă au rolul de a modifica dezechilibrul inițial pentru obținerea vectorului rezultant $\vec{B}$. Dacă greutatea de probă este prea mică în raport cu greutatea rotorului, forța centrifugă dezvoltată de această greutate nu este capabilă să modifice prea mult dezechilibrul inițial, iar rezultatele obținute pot da naștere la confuzii. Desigur, aceste greutăți de probă nu pot fi prea mari, deoarece ar conduce la vibrații prea puternice ale agregatelor.

În practica echilibrării se utilizează mai multe relații de calcul sau nomograme pentru determinarea greutății de probă.

În unele publicații [7], [8] se dau indicații asupra dezechilibrului admisibil al turboagregatelor, funcție de greutatea rotorului (18); forța centrifugă este reprezentată de (19). Prin egalarea relațiilor (18) și (19) și ținînd seamă de valoarea amplitudinilor de vibrații pe lagăr, s-a stabilit relația (20), cu ajutorul căreia s-a întocmit tabelul 1, cu valorile greutăților de probă pe tona de rotor și funcție de amplitudinea X a vibrației corpului, X_0 fiind amplitudinea

Tabelul 1

Greutăți de probă în grame pe tona de rotor

Raza la care se fixează greutatea de probă	Amplitudinea dublă (X), în microni, a corpului care vibrează					
	100	150	200	100	150	200
100	30	45	60	60	90	120
150	20	30	40	40	60	80
200	15	25	30	30	45	60
250	12	18	24	24	36	48
300	10	15	20	20	30	40
350	9	13	18	17	26	34
400	8	12	16	15	23	30
Turația corpului	3000 rot/min			1500 rot/min		

admisibilă a lagărului, care a fost luată egală cu unitatea :

$$F_c = 0{,}3\, G_{rotor}; \tag{18}$$

$$F_c = \frac{P.R.\omega^2}{g}; \tag{19}$$

$$P = \frac{F_c \cdot g}{R\omega^2} \cdot \frac{X}{X_0}\ [\text{kg}]. \tag{20}$$

Pentru calculul greutăţilor de probă, corespunzătoare turaţiilor de 1500 rot/min, se recomandă ca forţa centrifugă admisibilă care acţionează pe lagăr să fie jumătate din forţa centrifugă indicată de relaţia (18).

Valorile greutăţilor de probă din tabelul 1, calculate după (20), par a fi mai apropiate de realitate, deoarece se ţine seamă de forţa dinamică admisibilă din lagăr, care poate fi considerată ca un element distructiv la o maşină ce vibrează în condiţii inadmisibile.

4. Posibilităţi de echilibrare a corpurilor cînd nu se cunoaşte unghiul de fază al dezechilibrului

Dacă se analizează figura 6, se constată că între vectorul de dezechilibru iniţial $\vec{A}$ şi vectorul $\vec{C}$, creat de dezechilibrul corespunzător cuplului M_c, este un unghi δ :

$$\delta = 180° - (\varphi_c - \varphi_A). \tag{21}$$

Construcţia din figura 8 lasă să se înţeleagă că greutatea definitivă P, care trebuie fixată pe

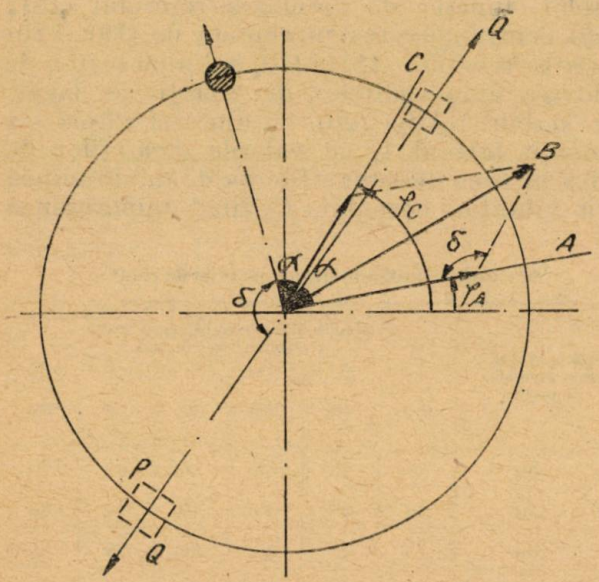


Fig. 8

planul frontal pentru anularea dezechilibrului Q, se află sub acelaşi unghi faţă de direcţia forţei F, care dezvoltă cuplul M_c, ca şi vectorii $\vec{A}$ şi $\vec{C}$. Se constată că greutatea definitivă P se găseşte înaintea greutăţii de probă G, cu unghiul δ (fig. 8).

La punctul 2.2.2. s-a menţionat că unghiul de dezechilibru se modifică numai cînd se modifică poziţia dezechilibrului. Deoarece direcţia dezechilibrului Q este invariabilă, înseamnă că orice deplasare unghiulară a direcţiei forţei F către direcţia în care trebuie să se plaseze greutatea P conduce la micşorarea unghiului δ, fără se se modifice valoarea vectorului $\vec{C}$. În cazul cînd unghiul $\delta = 0$, trebuie să se respecte (22), pentru care corpul este perfect echilibrat :

$$\vec{B} = \vec{A} + (-\vec{C}). \tag{22}$$

Din cele menţionate pînă în prezent se desprind următoarele idei importante :

— direcţia pe care s-a plasat sistemul de forţe F a determinat cunoaşterea direcţiei vectorului $\vec{C}$ şi a valorii unghiului δ;

— pentru orice modificare a direcţiei forţei F către direcţia pe care se va fixa greutatea definitivă P se va crea un vector $\vec{C}$, cu un unghi $\varphi_{c'} > \varphi_c$, şi deci $\delta' < \delta$, astfel încît greutatea definitivă P se va fixa la un unghi δ_1 :

$$\delta_1 = \delta - \delta'. \tag{23}$$

Faţă de aceste elemente, se poate spune că există posibilitatea echilibrării corpurilor fără să se cunoască unghiul de fază φ, cu condiţia ca pe planele frontale să se fixeze sistemul de forţe F, corespunzătoare cuplului M_c, în două direcţii diferite (de exemplu la 90°), adică este nevoie de două porniri, cuplul M_c trebuind să fie deplasat la a doua pornire cu 90° faţă de prima. În felul acesta, unghiul la care se va fixa greutatea definitivă P va fi δ_2 (24), faţă de direcţia celei de-a doua mutări a forţelor F :

$$\delta_2 = \delta - 90°. \tag{24}$$

Pentru înţelegerea mai uşoară a acestei metode de echilibrare, se redă cronologia etapelor de lucru :

1. Se măsoară amplitudinile oscilaţiilor pe fiecare direcţie şi pe fiecare lagăr şi se stabileşte direcţia ce trebuie măsurată; acest vector al amplitudinilor se notează cu $\overrightarrow{OA}$.

2. Se opreşte agregatul şi se fixează arbitrar greutăţi de probă care să creeze cuplul M_c, apoi se porneşte agregatul şi se măsoară amplitudinile care se notează cu $\overrightarrow{OB_1}$.

3. Se opreşte agregatul şi se mută, de exemplu la 90°, forţele care crează cuplul M_c, apoi se porneşte agregatul şi se măsoară amplitudinile oscilaţiilor; acest vector al amplitudinilor se notează cu $\overrightarrow{OB_2}$.

4. Se opreşte agregatul, nu se modifică poziţia forţelor şi se efectuează calculele grafoanalitice conform figurii 9, după cum urmează [12]:

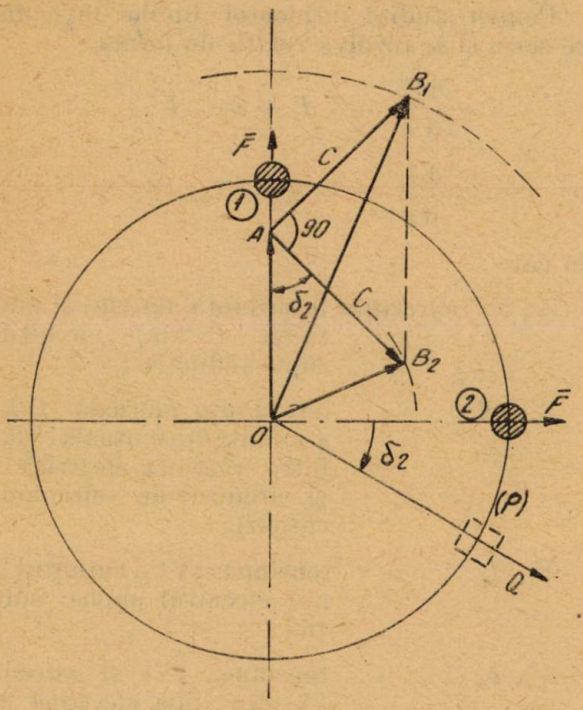


Fig. 9

a) Se trasează un cerc care simbolizează planul frontal al rotorului; se fixează o direcţie arbitrară pe care se află vectorul $\overrightarrow{OA}$. Vectorii $\overrightarrow{OB_1}$ şi $\overrightarrow{OB_2}$ sînt vectori rotitori.

b) Din vîrful vectorului $\overrightarrow{OA}$ se duc două drepte perpendiculare, care, rotindu-se din acest vîrf, vor trebui să treacă şi prin vîrfurile vectorilor rotitori $\overrightarrow{OB_1}$ şi $\overrightarrow{OB_2}$, cu condiţia ca $\overline{AB_1} = \overline{AB_2}$, iar $\overline{B_1B_2}$ să fie ipotenuza unui triunghi dreptunghic isoscel. În felul acesta s-a determinat vectorul $\vec{C} = AB_1 = AB_2$, iar unghiul la care trebuie să se fixeze greutatea definitivă P este δ_2 (fig. 9).

c) Se calculează greutatea P cu relaţia (17) şi înaintea direcţiei forţei F din unghiul δ_2 se fixează greutatea definitivă P.

d) Se porneşte agregatul şi se verifică valoarea amplitudinilor conform normelor în vigoare.

Concluzii

Elementul nou al metodei de echilibrare la turaţia nominală îl constituie introducerea unui cuplu de probă M_c. Acest cuplu creează în reazemele corpului nişte reacţiuni egale, care se compun cu reacţiunile dezechilibrului iniţial.

Avantajul îl constituie simplitatea calculelor grafoanalitice necesare echilibrării, ca urmare a faptului că în cazul cuplului aplicat M_c participaţiile din ambele reazeme sînt egale şi de sens contrar, spre deosebire de cazurile în care echilibrarea se efectuează prin metoda participaţiilor.

Toate metodele de echilibrare prezentate în literatura de specialitate indică punerea în mişcare de rotaţie a corpului la cel puţin trei porniri. Prin introducerea cuplului M_c nu este nevoie decît de două porniri, iar în ceea ce priveşte calculele, acestea sînt foarte simple, aşa cum sînt prezentate în figura 7 şi relaţia (17).

Pentru alegerea greutăţii de probă se utilizează unul din tabelele prezentate.

Vectorul $\vec{C}$, creat de forţa F, este acelaşi, indiferent de poziţia forţei pe planul frontal al corpului. În baza acestei proprietăţi s-a construit figura 9, cu ajutorul căreia există posibilitatea echilibrării corpului şi fără cunoaşterea unghiului de fază.

Bibliografie

[1] Den Hartog, J. P. ş.a. *Vibraţii mecanice.* Paris, 1960.

[2] Areanin, B. V. *Echilibrarea statică şi dinamică a rotoarelor turbinelor cu gaze.* Maşinostroenie, 1967.

[3] Radu, T. şi Brebenel, D. *Maşini, dispozitive şi metode de echilibrare statică şi dinamică.* Editura tehnică, 1967.

[4] Moldenhauer, F. *Echilibrarea turbogeneratoarelor mari în atelier şi în exploatare.* Zeitschrift für Elektrotechnik, nr. 2, 1948.

[5] Rathbone, T. C. *Vibraţiile şi echilibrarea turbinelor.* ASME, 1929.

[6] Schupp, W. *Echilibrarea electronică şi mecanică.* V.D.I., Berichte, 1959.

[7] Buzdugan, Gh. *Dinamica fundaţiilor de maşini.* Editura Academiei, Bucureşti, 1968.

[8] Savinov, O. A. *Fundamenti pod maşinami.* Leningrad. Editura de Stat pentru Construcţii şi Arhitectură, 1965.

[9] Butkovici, M. Energie, nr. 3—4, 1967.

[10] Istrate, I. Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice, nr. 4, 1969.

[11] Istrate, I. Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice, nr. 7, 1969.

[12] Grecu, T. *Turbine şi turbocompresoare,* vol. II. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1964.

(Articol intrat în redacţie la 30 decembrie 1969)

Algoritm pentru studiul influenței rețelelor electrice trifazate asupra circuitelor de telecomunicații

Conf. dr. ing. **A. Carabulea***)

Multiplele relații recomandate în literatura de specialitate pentru studiul influenței rețelelor trifazate au la bază expresiile simplificate deduse pentru două linii monofilare cu întoarcere prin pământ, modificate cu ajutorul unor coeficienți empirici, a căror valoare permite, pe de o parte, luarea în considerare a tipului de rețea la stabilirea influenței, iar pe de altă parte înlăturarea erorilor care intervin din simplificarea relațiilor Carson-Pollaczek [2], [3], [4]. Acest procedeu devine ineficace datorită multiplelor aspecte care se impun a fi corectate și conduce la erori apreciabile, datorită, pe de o parte, simplificării impedanțelor și admitanțelor mutuale, iar pe de altă parte utilizării unor coeficienți numerici recomandați pentru diverse cazuri particulare.

Pentru înlăturarea acestor neajunsuri s-a rezolvat ecuația telegrafiștilor și s-au scris modelele matematice generale care cuprind și cazurile particulare tratate în literatura de specialitate. S-au determiat apoi expresii noi pentru impedanțele și admitanțele mutuale pentru diverse tipuri de rețele influențatoare și circuite supuse inducției fără a se recurge la simplificări.

Algoritmul concretizat în modelele matematice generale și schema logică din figura 1 permit calcularea impedanțelor și a admitanțelor mutuale, a curenților de scurtcircuit din linia electrică trifazată, a tensiunilor induse față de pământ și a tensiunilor longitudinale, ținîndu-se seamă de tipul de învecinare (paralelă sau oblică), de regimul de funcționare a rețelei electrice (regim normal și regim de scurtcircuit : mono, bi și trifazat) și de felul circuitului supus inducției (izolat la ambele capete ; pus la pământ la ambele capete ; izolat la un capăt și pus la pământ la celălalt capăt), indicîndu-se astfel un procedeu eficace și rapid pentru determinarea mărimilor induse periculoase ($f = 50$ Hz) și perturbatoare ($f = 800$ Hz), în condiții riguroase de considerare a factorilor care contribuie la stabilirea nivelului de influență.

*) Dr. ing. A. Carabulea este conferențiar la Institutul politehnic București.

1. Modele matematice pentru studiul influenței rețelelor electrice învecinate cu circuitele de curenți slabi

Pentru studiul influenței liniilor învecinate se scriu și se rezolvă relații de forma :

$$-\frac{\mathrm{d}V_i}{\mathrm{d}x} = Z_i I_i + Z_{k-1} \cdot I_k ,$$
$$-\frac{\mathrm{d}I_i}{\mathrm{d}x} = Y_i V_i - Y_{k-i} V_k , \qquad (1)$$

în care :

Z_i, Y_i reprezintă impedanța (Ω/km) și admitanța (S/km) circuitului supus inducției ;

Z_{k-i}, Y_{k-i} — impedanța mutuală (Ω/km) și admitanța mutuală (S/km) între rețeaua electrică (k) și circuitul de telecomunicație(i) ;

V_i, I_i — tensiunea (V) și curentul (A) din circuitul supus inducției ;

V_k, I_k — tensiunea (V) și curentul (A) din linia electrică trifazată.

Soluțiile relațiilor (1) sînt de forma :

$$\underline{V}_i(x) = \underline{A}\, \mathrm{e}^{-x\sqrt{Z_k Y_k}} + \underline{A}'\, \mathrm{e}^{x\sqrt{Z_i Y_i}} + A''\, \mathrm{e}^{-x\sqrt{Z_i Y_i}}$$
$$\underline{I}_i(x) = \underline{B}\, \mathrm{e}^{-x\sqrt{Z_k Y_k}} - \frac{1}{Z_{ci}} (\underline{A}'\, \mathrm{e}^{x\sqrt{Z_i Y_i}} - A''\, \mathrm{e}^{-x\sqrt{Z_i Y_i}}) \qquad (2)$$

Determinarea constantelor A, B, A', A'' se face pentru circuite de telecomunicații frecvent utilizate în practică. Astfel, pentru circuite de curenți slabi izolate la ambele capete, se pun condițiile $I_i\ (x = 0) = I_i\ (x = l_p) = 0$ și se obțin modele matematice sub forma [7], [2] :

$$\underline{V}_i(x) = Z_{k-i}\underline{I}_k \left[\frac{\sqrt{Z_k Y_k}}{Z_k Y_k - Z_i Y_i} \left(\mathrm{e}^{-x\sqrt{Z_k Y_k}} - \right.\right.$$
$$\left. - \operatorname{ch} x\sqrt{Z_i Y_i} \right) + \frac{Y_i Z_{ci}}{Z_k Y_k - Z_i Y_i} \operatorname{sh}\ x\sqrt{Z_i Y_i} +$$
$$\left. + \operatorname{ch} x\sqrt{Z_i Y_i} \right] + Y_{k-i}\underline{U}_k \left[\frac{\operatorname{ch} x\sqrt{Z_i Y_i}}{Y_i} + \right.$$
$$+ \frac{Z_i}{Z_k Y_k - Z_i Y_i} (\operatorname{ch} x\sqrt{Z_i Y_i} -$$
$$\left. - \mathrm{e}^{-x\sqrt{Z_k Y_k}}) - \frac{Z_i\sqrt{Z_k Y_k}}{Z_k Y_k - Z_i Y_i} \operatorname{ch}\ x\sqrt{Z_i Y_i} \right] ; \qquad (3)$$

$$\underline{I}_i(x) = Z_{k-i}\underline{I}_k\left\{\frac{Y_i}{Z_kY_k - Z_iY_i}\left[e^{-x\sqrt{Z_kY_k}} - \operatorname{ch}\sqrt{Z_iY_i} + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{1}{Z_{ci}Y_i}(\sqrt{Z_kY_k} - Z_kY_k + Z_iY_i)\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}\right]\right\} +$$

$$+ Y_{k-i}\underline{U}_k\left[\frac{\sqrt{Z_kY_k}}{Z_kY_k - Z_iY_i}(\operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i} - e^{-x\sqrt{Z_kY_k}}) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{Z_{ci}}\left(\frac{1}{Y_i} + \frac{Z_i}{Z_kY_k - Z_iY_i}\right)\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}\right].$$

Pentru circuitele de telecomunicaţie puse la pământ la ambele capete, se determină constantele din relaţiile (2), punînd condiţiile $V_i\,(x = 0) = V_i\,(x = l_p) = 0$ şi se scriu modelele generale sub forma [7], [2]:

$$\underline{V}_i\,(x) = Z_{k-i}\,\underline{I}_k\left[\frac{\sqrt{Z_kY_k}}{Z_kY_k - Z_iY_i}(e^{-x\sqrt{Z_kY_k}} - \right.$$

$$\left. - \operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i}) - \left(\frac{Z_iZ_{ci}}{Z_kY_k - Z_iY_i} + \frac{Z_{ci}}{Z_i}\right)\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}\right] +$$

$$+ Y_{k-i}\,\underline{U}_k\left[\frac{Z_i}{Z_kY_k - Z_iY_i}(\operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i} - \right.$$

$$\left. - e^{x\sqrt{Z_kY_k}}) - \left(\frac{Z_{ci}\sqrt{Z_kY_k}}{Z_kY_k - Z_iY_i} + Z_{ci}\right)\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}\right]; \quad (4)$$

$$\underline{I}_i\,(x) = Z_{k-i}\,\underline{I}_k\left[\frac{Y_i}{Z_kY_k - Z_iY_i}(e^{-x\sqrt{Z_kY_k}} - \right.$$

$$\left. - \operatorname{ch} x\sqrt{Z_kY_k}) - \left(\frac{\sqrt{Z_kY_k}\cdot\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}}{Z_i(Z_kY_k - Z_iY_i)} + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{1}{Z_i}\operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i}\right)\right] +$$

$$+ Y_{k-i}\underline{U}_k\left[\frac{\sqrt{Z_kY_k}}{Z_kY_k - Z_iY_i}(\operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i} - e^{-x\sqrt{Z_kY_k}}) - \right.$$

$$\left. - \frac{Z_i\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}}{Z_{ci}\,(Z_kY_k - Z_iY_i)} + \operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i}\right].$$

În cazul circuitelor de telecomunicaţie izolate la un capăt şi puse la pământ la celălalt, se determină constantele din condiţiile $I_i\,(x = 0)$ şi $V_i\,(x = l_p) = 0$ şi se scriu modelele matematice sub forma [7], [2]:

$$\underline{V}_i\,(x) = Z_{k-i}\,\underline{I}_k\left[\frac{\sqrt{Z_kY_k}}{Z_kY_k - Z_iY_i}(e^{-x\sqrt{Z_kY_k}} - \right.$$

$$\left. - \operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i}) + \operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i} + \right.$$

$$\left. + \frac{Z_{ci}Y_i}{Z_kY_k - Z_iY_i}\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}\right] +$$

$$+ Y_{k-i}\,\underline{U}_k\left[\frac{Z_i}{Z_kY_k - Z_iY_i}(\operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i} - \right.$$

$$\left. - e^{-x\sqrt{Z_kY_k}} - \sqrt{Z_kY_k}\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}) + \frac{1}{Y_i}\operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i}\right]; \quad (5)$$

$$\underline{I}_i\,(x) = Z_{k-i}\,\underline{I}_k\left[\frac{Y_i}{Z_kY_k - Z_iY_i}(e^{-x\sqrt{Z_kY_k}} + \right.$$

$$\left. + \operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i}) - \frac{1}{Z_{ci}}\left(1 - \frac{\sqrt{Z_kY_k}}{Z_kY_k - Z_iY_i}\right)\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}\right] +$$

$$+ Y_{k-i}\underline{U}_k\left[-\frac{\sqrt{Z_kY_k}}{Z_kY_k - Z_iY_i}(e^{-x\sqrt{Z_kY_k}} + \operatorname{ch} x\sqrt{Z_iY_i}) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{Z_{ci}}\left(\frac{1}{Y_i} + \frac{Z_i}{Z_kY_k - Z_iY_i}\right)\operatorname{sh} x\sqrt{Z_iY_i}\right].$$

Făcînd diferenţa tensiunilor induse faţă de pământ, calculate cu relaţiile (3), (4), (5), pentru începutul ($x = 0$) şi sfîrşitul porţiunii de apropiere ($x = l_p$), se obţine tensiunea longitudinală, care se poate scrie şi sub forma:

$$\underline{E}_i = \left[\underline{V}_i\,(x = 0) - \underline{V}_i\,(x = l_p) = \right.$$

$$= K_e\,\underline{I}_k\sum_{j=1}^{n}(Z_{k-i}\,l_p)_j \quad [\mathrm{V}], \quad (6)$$

în care:

K_e este coeficientul de ecran al conductoarelor puse la pământ, egal cu (0,4 — 0,8), în funcţie de numărul şi poziţia ecranelor faţă de liniile învecinate;

l_p — lungimea porţiunii de învecinare.

Calcularea tensiunilor induse faţă de pământ şi a tensiunilor longitudinale se reduce la determinarea impedanţelor şi admitanţelor mutuale şi a curenţilor influenţatori în regim de scurtcircuit de pe linia electrică trifazată.

Determinarea impedanţelor şi admitanţelor mutuale dintre o reţea electrică trifazată şi un circuit monofilar (I) şi respectiv bifilar (II) de telecomunicaţie se face rezolvînd următoarele relaţii:

$$(E_{\mathrm{I}} - E_{\mathrm{II}}) = \left(\sum_{k=1}^{3} Z_{k-\mathrm{I}}I_k - \sum_{k=1}^{3} Z_{k-\mathrm{II}}\,I_k\right)l_p$$

$$(I_{\mathrm{I}} - I_{\mathrm{II}}) = \left(\sum_{k=1}^{3} Y_{k-\mathrm{I}}U_k - \sum_{k=1}^{3} Y_{k-\mathrm{II}}\,U_k\right)l_p \quad (7)$$

Făcîndu-se calculele şi ţinîndu-se seamă de indicaţiile din literatura de specialitate [1], [7], [2], se obţin relaţii pentru impedanţele mutuale dintre linii în ipoteza neglijării constantelor de material, sub forma:

$$\text{a)}\quad Z_{k-\mathrm{I}} = \frac{f}{400\,a}\cdot\frac{(d_{ab} + d_{bc} + j\sqrt{3}\,d_{ca})\,[6h_m + h_0\,(h_m + 6) + h_0^2]}{a^2 + 4h_0\,(h_m + 6) + h_0^2 + (h_m + 6)^2} \quad [\Omega/\mathrm{km}] \quad (8)$$

$$\text{b)}\quad Z_{k-i-\mathrm{II}} = \frac{f\cdot d_{\mathrm{I-II}}}{400\,a^2}\cdot\frac{(d_{ab} + d_{bc} + j\sqrt{3}\,d_{ca})\,[6h_m + h_0\,(h_m + 6) + h_0^2]\,[3a^2 + 4h_0\,(h_m + 6) + (h_m + 6)^2]}{[a^2 + 4h_0\,(h_m + 6) + 4h_0^2 + (h_m + 6)^2]^2}$$

Relaţiile (8) sînt valabile pentru apropieri paralele dintre liniile învecinate şi pentru aşezări de orice fel ale conductoarelor reţelelor electrice. Admitanţele mutuale pentru afropieri paralele se determină cu relaţii de porma:

$$\text{a) } Y_{k-I} = \frac{0{,}27 \cdot 10^{-7}\omega}{(A^2 + 100)} \quad [\text{S/km}];$$
$$\text{b) } Y_{k-I-II} = \frac{0{,}2 \cdot 10^{-7} \cdot \omega \cdot a}{(n+2)(A^2+100)^2} \quad [\text{S/km}]. \tag{9}$$

Pentru apropieri oblice se calculează impedanţele şi admitanţele mutuale cu relaţii de forma:

$$\text{a) } Z^{oblic}_{k-I} = \int_{a_{min}}^{a_{max}} Z_{k-I}\,dx;$$
$$\text{b) } Z^{oblic}_{k-I-II} = \frac{d_{I-II}}{a_{max} - a_{min}} \int_{a_{min}}^{a_{max}} \frac{Z_{k-I}}{a}\,d.x \tag{10}$$

Relaţii de forma (10) se pot scrie şi pentru admitanţe mutuale:

$$\text{a) } Y^{oblic}_{k-I} = \int_{a_{min}}^{a_{max}} Y_{k-I}\,dx;$$
$$\text{b) } Y^{oblic}_{k-I-II} = \frac{1}{a_{max} - a_{min}} \int_{a_{min}}^{a_{max}} \frac{\partial Y_{k-I}}{\partial a}\,da. \tag{11}$$

Relaţiile de calcul puse sub o formă uşor de aplicat, deduse cu ajutorul expresiilor (10) — — (11) sînt publicate în literatura de specialitate [7] — [8]. În relaţiile (8) — (11) intervin următoarele mărimi:

a — apropierea dintre liniile învecinate, $\omega = 2\pi f$;

d_{ab}; d_{bc}; d_{ca} — distanţa dintre conductoarele liniei electrice trifazate;

f — frecvenţa curentului la 50 Hz (fundamentala) şi 800 Hz (armonicile perturbatoare);

h_0 — adîncirea echivalentă de pătrundere a curentului prin sol;

h_m — înălţimea medie de suspensie a conductoarelor liniei de energie;

n — numărul de conductoare al circuitului supus inducţiei;

d_{I-II} — distanţa dintre conductoarele circuitului supus inducţiei.

Dacă circuitul bifilar de telecomunicaţie este nesimetric în raport cu reţeaua electrică inductoare sau în raport cu pămîntul, modelele matematice ale tensiunilor induse se calculează cu relaţii de forma:

$$\text{a) } \underline{U}'_{12} = \left[\frac{K' \rho^2 f \cdot d_{ab} \cdot d_{I-II} F_i \underline{I}_k l'_p}{a^2 (a^4 f^2 + \rho^2 \cdot 10^{12})} + \right.$$
$$\left. + 0{,}5\, Z_i\, Y_{k-i} F_u \underline{U}_k \cdot l'_p\right] \tag{12}$$
$$\text{b) } \underline{U}''_{12} = \left[\frac{K'' \rho \cdot f \cdot d_{ab} \cdot d_{I-II} F_i \underline{I}_k l_p K_e}{a(a^2 f + \rho \cdot 10^6)} + \right.$$
$$\left. + Z_i\, Y_{k-i} F_u \underline{U}_k\, l_p\right] \eta,$$

în care:

ρ este rezistivitatea solului pe care este construit circuitul supus inducţiei;

F_i; F_u — factorii telefonici de formă ai curbelor de curent (F_i) şi tensiune (F_u);

l'_p — lungimea necompensată a pasului de transpunere;

η — coeficientul de sensibilitate al circuitului de curenţi slabi faţă de perturbaţii;

$K' = 0{,}625 \cdot 10^{12}$, iar $K'' = 0{,}5 \cdot 10^{10}$ pentru o aşezare oarecare a conductoarelor liniei influenţatoare de energie electrică.

Modelele matematice (3) — (6) se pot scrie ţinînd seamă de expresiile (8) — (9) ale impedanţelor şi admitanţelor mutuale pentru diverse tipuri de coronamente ale reţelei electrice trifazate influenţatoare şi pentru diferite tensiuni, aşa cum se arată în literatura de specialitate [1], [7], [2].

2. Consideraţii asupra schemei logice de calcul

Transpunerea pe calculator a modelelor matematice (3) — (6) se face prin intermediul schemei logice din figura 1. În schemă există următoarele zone distincte:

a) Zona datelor primare şi a operatorilor de ciclare se extinde pe cuprinsul celulei 1. Se începe calculul pentru mărimile induse periculoase şi se inserează în celula $F = 50$ Hz. Se scrie $X = (1, \ldots, N)$ numărul tronsoanelor de pe circuitul de telecomunicaţie care se învecinează cu reţeaua electrică trifazată. Ca date primare de intrare folosite în calcul se menţionează: apropierile $[AK(x)]$ dintre linii, înălţimile de suspensie a conductoarelor liniilor învecinate, lungimea fiecărui tronson de învecinare, depărtările dintre conductoarele liniilor electrice (d_{ab}; d_{bc}; d_{ca}) şi ale celei de telecomunicaţie ($D_{12} = d_{I-II}$), rezistivitatea solului prin care trec liniile învecinate. Operatorii de ciclare (R; B; C; A) servesc în ordine pentru calcularea impedanţelor şi apoi a admitanţelor (R) la reţinerea valorilor calculate ale tensiunilor induse pentru începutul şi sfîrşitul tronsonului supus inducţiei, pentru diverse regimuri de funcţionare a reţelei electrice $B = (1, \ldots, 8)$. Operatorul $C = (1, \ldots, 3)$ serveşte la precizarea tipului de circuit supus inducţiei, iar $A = (1, \ldots, 6)$ permite luarea în consideraţie atît a regimului normal ($A = 1$) cît şi a celui de scurtcircuit $A = (2 - 4)$ pe linia de energie; ($A = 2$) scurtcircuit monofazat; ($A = 3$) scurtcircuit bifazat cu şi fără punere la pămînt şi ($A = 4$) scurtcircuit trifazat. Dacă $A = 5$, se trece la calculul mărimilor induse perturbatoare $F = 800$ Hz.

b) Zona de calcul al impedanţelor şi admitanţelor mutuale cuprinde celulele 8, 9, 10 şi 11 (a şi b). Dacă $R = 1$, se calculează impedanţele mutuale, iar cînd $R = 0$ se determină

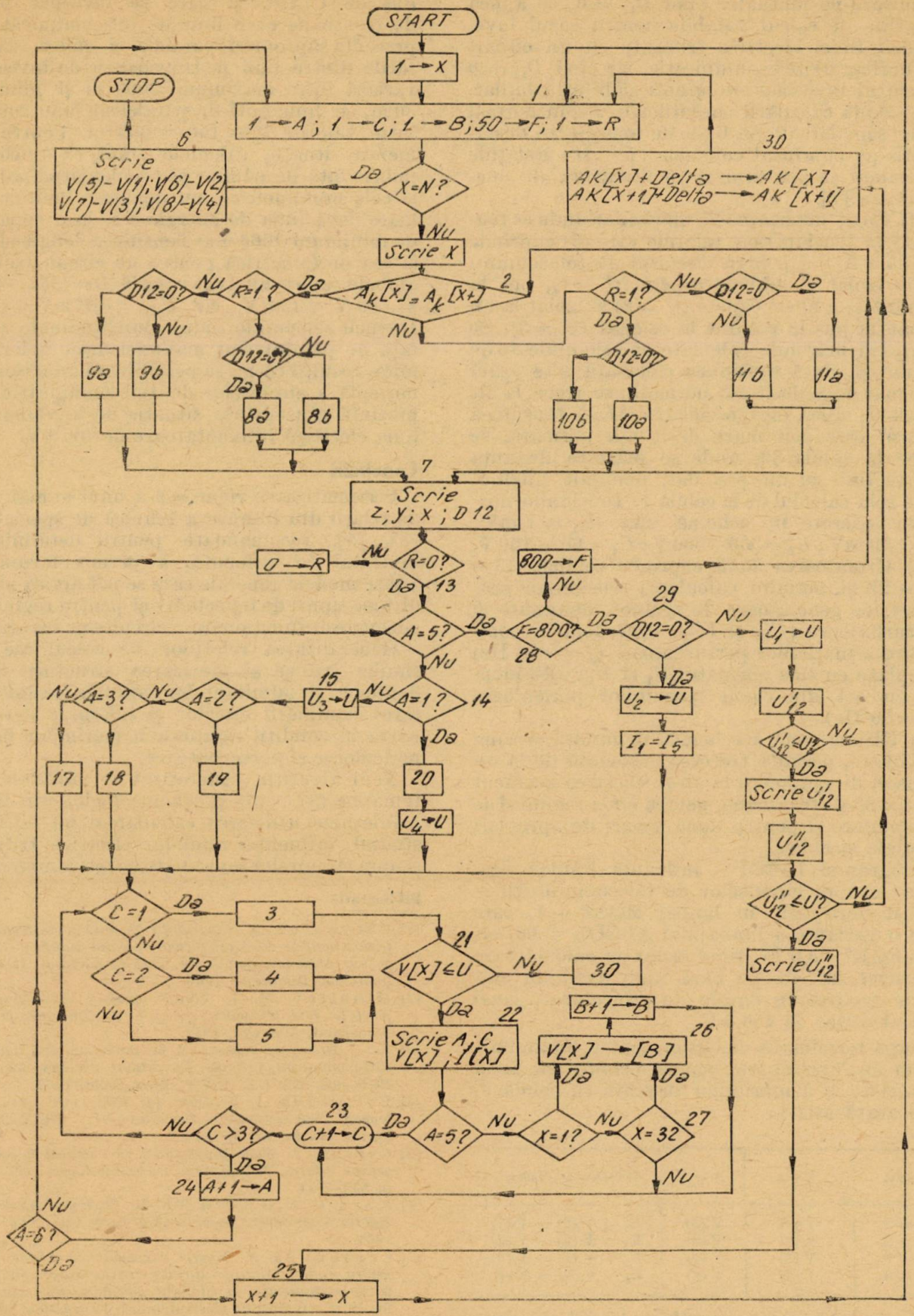

START
STOP
1 → X
1 → A ; 1 → C ; 1 → B ; 50 → F ; 1 → R
Scrie V(5)-V(1); V(6)-V(2) V(7)-V(3); V(8)-V(4)
X=N?
Da
Nu
Scrie X
AK[X]+Delta → AK[X]
AK[X+1]+Delta → AK[X+1]
D12=0?
R=1?
A_K[X] = A_K[X+]
Scrie z; y; x; D12
0 → R
R=0?
800 → F
A=5?
I=800?
D12=0?
U1 → U
U2 → U
I1 = I5
U3 → U
A=1?
A=2?
A=3?
U'12
U'12 ≤ U?
Scrie U'12
U''12
U''12 ≤ U?
Scrie U''12
C=1?
C=2?
3
4
5
V[X] ≤ U
Scrie A; C V[X]; I[X]
B+1 → B
V[X] → [B]
C+1 → C
C>3?
A+1 → A
A=6?
X=1?
X=32?
X+1 → X

Fig. 1

admitanţele mutuale. Cînd $D_{12} = 0$, se aplică relaţiile de calcul valabile pentru cazul învecinării liniei electrice trifazate cu un circuit monofilar de telecomunicaţie, iar cînd $D_{12} \neq 0$ circuitul învecinat de curenţi slabi este bifilar.

c) Zona calculării curenţilor în regim normal şi la scurtcircuit pe linia de energie se desfăşoară pe cuprinsul celulelor 17 — 20. Relaţiile de calcul se pot urmări în literatura de specialitate [7].

d) Zona determinării mărimilor induse (curenţi şi tensiuni) cu relaţiile (3)—(5) cuprinde celulele 3 — 5 pentru circuitul de telecomunicaţie izolat la ambele capete ($C = 1$), pus la pămînt la ambele capete ($C = 2$) şi izolat la un capăt şi pus la pămînt la celălalt ($C = 3$). Se compară mărimile calculate cu cele indicate de norme şi, dacă tensiunea calculată este egală sau mai mică decît cea normată, se trece la alt tronson, adică începe ciclarea. Dacă tensiunea indusă este mai mare decît cea normată, se trece la celula 30, unde se măreşte distanţa dintre linii cu un pas dat, denumit „delta" şi se reia calculul de la celula 1. Tensiunile normate inserate în schemă sînt $U_1 = 1$ mV; $U_2 = 30$ mV; $U_3 = 300 \div 500$ V; $U_4 = 60 \div 150$ V.

e) Următoarea zonă cuprinde celulele 13 — 28 — 29 şi permite calcularea tensiunilor profometrice generatoare de zgomot, denumite şi perturbatoare (U'_{12} şi U''_{12}). Procedeul de comparare a mărimilor perturbatoare ($f = 800$ Hz) calculate cu cele normate (U_1 şi U_2) este identic cu cel din cazul tensiunilor periculoase ($f = 50$ Hz).

f) Ultima zonă a schemei, denumită şi zona de ciclare, permite trecerea automată de la un tronson de apropiere la altul. Ciclarea s-a făcut pentru 33 de tronsoane, pentru cinci regimuri de funcţionare şi pentru două tipuri de apropieri paralele şi oblice.

Programul ILECT — influenţa liniilor electrice asupra circuitelor de telecomunicaţii — a fost scris atît în limbaj MOST — 1, care este o variantă a limbajului ALGOL — 60, cît şi în FORTRAN IV, fiind testat pe calculatoare numerice diferite pe baza unui exemplu numeric realizat cu datele de proiectare a unei linii electrice de 400 kV.

După terminarea ciclărilor pentru un anumit regim de funcţionare, maşina primea comanda de scriere şi a mărimilor inserate în celula 6, care arată astfel:

Regimul	$X = 1$	$X = N$	Tensiunea longitudinală
$A = 1$	$V(1)$	$V(5)$	$E_1 = V(5) - V(1)$
$A = 2$	$V(2)$	$V(6)$	$E_2 = V(6) - V(2)$
$A = 3$	$V(3)$	$V(7)$	$E_3 = V(7) - V(3)$
$A = 4$	$V(4)$	$V(8)$	$E_4 = V(8) - V(4)$

Exemplul numeric se referă la o linie electrică trifazată de 400 kV, care leagă CTE Luduş de U.A.S. şi care se învecina pe 33 de tronsoane cu o linie de telecomunicaţie ce prezenta apropieri paralele şi oblice. Depărtările dintre linii pe tronsoanele de învecinare variază între maximum 3000 m şi minimum 30 m, iar lungimile de paralelism erau cuprinse între valorile $l_p = 100 - 200$ m. Pentru asemenea situaţii, calculele arată că tensiunile induse faţă de pămînt şi cele longitudinale, cît şi cele profometrice, nu depăşesc limitele normate dacă linia de energie este la o depărtare de minimum 1000 m. Tensiunea longitudinală şi cea profometrică pentru un circuit izolat la ambele capete au avut valorile $E = (351 - 42) = 309$ V < 420 V, iar $U_{12} = 0{,}77$ mV < 1 mV. Întrucît tensiunile induse longitudinale şi cele faţă de pămînt sînt mai mici decît valorile-limită, rezultă că nu se periclitează funcţionarea normală a circuitelor de telecomunicaţie care prezintă o asemenea situaţie de învecinare cu linia electrică influenţatoare de 400 kV.

Concluzii

Sistematizarea riguroasă a unui număr mare de relaţii din literatura tehnică de specialitate [3], [5], recomandate pentru determinarea nivelului de influenţă, a permis formularea a şase modele generale care se pot aplica pentru diverse tipuri de învecinări şi pentru regimurile adecvate de funcţionare a circuitelor învecinate.

Generalizarea relaţiilor de calcul ale mărimilor induse şi precizarea structurii impedanţelor şi admitanţelor mutuale permit evitarea cumulării erorilor şi înlesnesc determinarea în condiţii riguroase a mărimilor induse periculoase şi perturbatoare.

Noul algoritm concretizat în modelele matematice (3) — (5) şi schema logică din figura 1 înlesnesc utilizarea calculatoarelor cifrice la studiul influenţei reţelelor electrice trifazare asupra circuitelor învecinate de telecomunicaţie.

Bibliografie

[1] Carabulea, A. *Contribuţii la studiul influenţei reţelelor electrice două conductoare-pămînt asupra circuitelor învecinate de telecomunicaţie.* Teză de doctorat, Institutul politehnic Bucureşti, 1963.

[2] Mihailov, M. I. *Vlianie vneşnih elektromagnitnie polei na ţepi provodnoi speazi i zaşcitnie meropriatiia.* Sviazizdat, Moscova, 1959.

[3] * * * *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nusibles des lignes électriques.* Ed. C.C. P.T.T., New Delhi, 1963.

[4] Pollaczek, I. F. *Über das Feld einer unwendlich langen Wechselstrom — durchflassener Einfachleitung.* Elektr. Nachr. nr. 9, 1956.

[5] Carson, I. *Wave propagation in overhead wires with ground return.* Bell System Technical Journ., oct. 1926, p. 539—554.

[6] Korn, G. A. şi Korn, Th. M. *Electronic Analog and Hybrid Computers.* McGraw-Hill Book Co., New York, 1964.

[7] Carabulea, A. *Modele matematice şi schema logică pentru studiul influenţei liniilor electrice asupra circuitelor de telecomunicaţie cu ajutorul calculatoarelor numerice.* Studii şi cercetări de electrotehnică şi enegetică, tom 18, nr. 4, 1968, p. 893—911.

(Articol intrat în redacţie la 9 aprilie 1970)

Compensarea liniilor de energie electrică

Conf. dr. ing. **Tr. Giosan** *)

Transportul energiei electrice pe linii lungi se face de obicei la tensiune constantă şi putere variabilă, de unde rezultă că trebuie modificată corespunzător impedanţa liniilor. Datorită capacităţii şi inductanţei liniei, considerată fără pierderi, apar în mod natural un curent inductiv şi, respectiv, o tensiune capacitivă, care trebuie supusă unui control pentru a realiza o transmisie convenabilă.

Pentru ameliorarea condiţiilor de transport al energiei electrice în curent alternativ, este necesar să se compenseze curenţii capacitivi şi tensiunile inductive ale liniilor electrice.

În mod natural, linia prezintă o impedanţă şi, respectiv, o putere caracteristică :

$$Z_c = \frac{V_n}{I_c} = \sqrt{\frac{l}{c}}\ ;\ P_c = V_n \cdot I_c,$$

iar după introducerea efectelor de compensare :

$$Z_q = \sqrt{\frac{\lambda}{K}}\ ;\ P_q = V_n \cdot I_q,$$

în care :

V_n este tensiunea nominală (fază-neutru) ;
I_c — curentul caracteristic ;
l — inductanţa ;
c — capacitatea specifică ;
Z_q — impedanţa ;
P_q — puterea „artificială".

Pentru compensare se folosesc instalaţii dispuse în serie, în derivaţie sau mixt, faţă de conductoarele liniei. Cele mai utilizate sînt condensatoarele, reactoarele, precum şi alte aparate sau maşini cu efect similar. Notăm aceste efecte suplimentare care urmează să se instaleze în serie cu linia prin simbolul σ, iar cele care urmează să se instaleze în derivaţie cu linia prin simbolul π. Acordăm semnul plus elementelor de aceeaşi natură şi care ocupă aceeaşi poziţie ca şi constantele naturale ale liniei şi semnul minus în caz contrar. Pentru inductanţa rezultantă $\lambda = l + \sigma$ (fig. 1) şi $\lambda = l - \sigma$ (fig. 2).

Cazurile $\lambda = l \pm \sigma$, $\pi = 0$ se referă la compensarea în serie inductivă sau capacitivă (fig. 1 şi 2).

În mod similar, pentru elementele în derivaţie, capacitatea rezultantă va fi egală cu $K = c \pm \pi$ (fig. 3 şi 4). Linia este alimentată de generatorul G şi încărcată cu sarcina M. Rezultă, evident, patru cazuri de compensare :

*) Conf. dr. ing. Traian Giosan lucrează la Institutul politehnic Iaşi.

1. *Compensarea serie cu reactoare* (fig. 1).

Pentru acest gen de compensare $\pi = 0$, $\lambda = l + \sigma$, $K = c$, iar

$$\frac{P_q}{P_c} = \sqrt{\frac{Kl}{\lambda c}} = \sqrt{\frac{c\,l}{(l+\sigma)c}} = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{\sigma}{l}}}\ ;\ \frac{\sigma}{l} = \left(\frac{P_c}{P_q}\right)^2 - 1.$$

Fig. 1

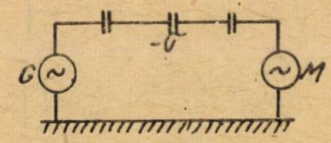


Fig. 2

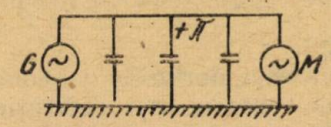


Fig. 3

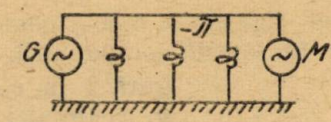


Fig. 4

Pe de altă parte,

$$\frac{\sigma}{l} = \frac{\sigma\,\omega\,a\,I_c^2}{l\,\omega\,a\,I_c^2} = \frac{Q_\sigma^+}{Q_l}\ ;\quad \frac{Q_\sigma^+}{Q_l} = \frac{\omega a}{v}\left[\left(\frac{P_c}{P_q}\right)^2 - 1\right],$$

în care :

a este lungimea liniei ;
ω — pulsaţia curentului ;
v — viteza de propagare pe linii electrice.

Notînd $\frac{Q_\sigma^+}{P_c} = y_\sigma^+$, $\frac{P_q}{P_c} = x$, rezultă $y_\sigma^+ = \frac{\omega a}{v}\left(\frac{1}{x^2} - 1\right)$, reprezentată în figura 5 (Q_σ^+). Aceasta corespunde puterii transmise, $P < P_c$.

2. *Compensarea serie cu condensatoare* (fig. 2).

$$(\lambda = l - \sigma\ ;\ K = c\ ;\ \pi = 0)$$

$$\frac{P_q}{P_c} = \sqrt{\frac{Kl}{\lambda c}} = \sqrt{\frac{c\,l}{(l-\sigma)\,c}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{\sigma}{l}}}\ ;$$

$$\frac{\sigma}{l} = 1 - \left(\frac{P_c}{P_q}\right)^2 = \frac{Q_\sigma^-}{Q_l}\ ;\ \frac{Q_\sigma^-}{P_c} = \frac{\omega a}{v}\left[1 - \left(\frac{P_c}{P_q}\right)^2\right].$$

Notînd $y_\sigma^- = \frac{Q_\sigma^-}{P_c}$ rezultă $y_\sigma^- = \frac{\omega a}{v}\left(1 - \frac{1}{x^2}\right)$, reprezentată în figura 6 (Q_σ^-). În acest caz $P > P_c$.

3. *Compensarea derivaţie cu condensatoare* (fig. 3).

$$(\lambda = l\ ;\ \sigma = 0\ ;\ K = c + \pi)$$

Din relația $\frac{P_q}{P_c} = \sqrt{\frac{Kl}{\lambda c}} = \sqrt{1+\frac{\pi}{c}}$, reiese:

$$\frac{\pi}{c} = \left(\frac{P_q}{P_c}\right)^2 - 1; \frac{Q_\pi^+}{P_c} = \frac{\omega a}{v}\left[\left(\frac{P_q}{P_c}\right)^2 - 1\right].$$

Notînd cu $\frac{Q_\pi^+}{P_c} = y_\pi^+$, $\frac{P_q}{P_c} = x$, rezultă $y_\pi^+ = \frac{\omega a}{v}(x^2-1)$, reprezentată în figura 7 (Q_π^+).

4. *Compensarea derivație cu reactoare* (fig. 4). ($\lambda = l$; $\sigma = 0$; $K = c - \pi$)

În mod similar

$$\frac{P_q}{P_c} = \sqrt{1-\frac{\pi}{c}}; \frac{\pi}{c} = 1 - \left(\frac{P_q}{P_c}\right)^2;$$

$$\frac{Q_\pi^-}{P_c} = \frac{\omega a}{v}\left[1 - \left(\frac{P_q}{P_c}\right)^2\right].$$

Prin urmare $y_\pi^- = \frac{\omega a}{v}(1-x^2)$, reprezentată în figura 7 (Q_π^-).

La compensarea derivație cu condensatoare, $P > P_c$, iar la compensarea derivație cu reactoare, $P < P_c$.

Sintetizînd figurile 5, 6 și 7, pentru domenii convenabile în sensul compensării, rezultă figura 8 în coordonatele y, x. De aici se observă

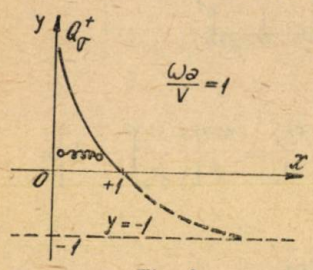


Fig. 5

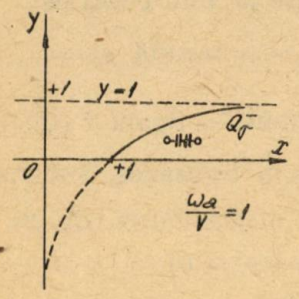


Fig. 6

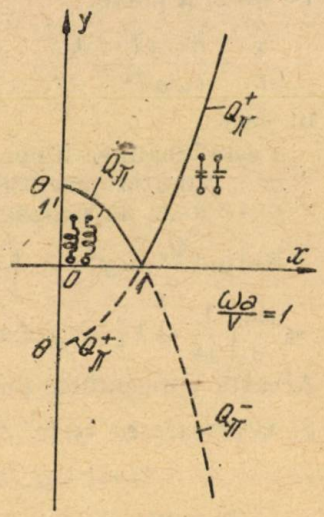


Fig. 7

că raportul $\rho_x = \frac{y}{x} = \frac{Q}{P_q}$.

Acesta este un indicator pentru sistemele de compensare.

Pentru studiul amănunțit al caracteristicilor în punctul ($x = 1$, $y = 0$) se face o schimbare de variabilă:

$$\Delta P_{qc} = P_q - P_c = \frac{V_n^2}{Z_q} - \frac{V_n^2}{Z_c} = P_c\left(\frac{Z_c}{Z_q} - 1\right) =$$

$$= P_c\left(\sqrt{\frac{Kl}{\lambda c}} - 1\right).$$

Rezultă sistemul de coordonate z, y, în care

$$z = \frac{\Delta P_{qc}}{P_c} = \sqrt{\frac{Kl}{\lambda c}} - 1; \quad y = \frac{Q}{P_c}.$$

Și în acest caz se disting patru variante:

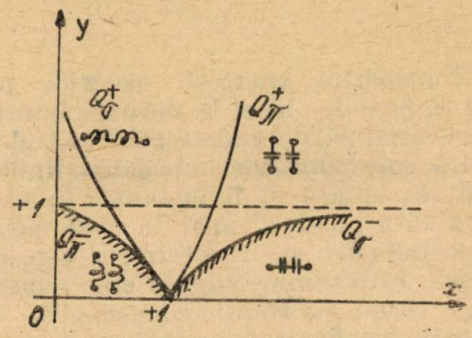


Fig. 8

5. *Compensarea serie cu reactoare.* ($\lambda = l + \sigma$; $K = c$; $\pi = 0$)

$$z = \frac{\Delta P_{qc}}{P_c} = \sqrt{\frac{c \cdot l}{(l+\sigma)c}} - 1;$$

$$\left(\frac{\Delta P_{qc}}{P_c} + 1\right)^2 = \frac{K \cdot l}{\lambda c} = \frac{c \cdot l}{(l+\sigma)c} = \frac{1}{1+\frac{\sigma}{l}};$$

$$\left(1+\frac{\sigma}{l}\right)\left[\left(\frac{\Delta P_{qc}}{P_c}\right)^2 + 2\frac{\Delta P_{qc}}{P_c} + 1\right] = 1;$$

$$\left(1+\frac{\sigma}{l}\right)(z^2+2z+1) = 1; \quad \frac{\sigma}{l}(z^2+2z+1) =$$

$$= 1 - z^2 - 2z - 1;$$

$$\frac{\sigma}{l} = \frac{-z^2-2z}{z^2+2z+1}; \quad Y_\sigma^+ = \frac{Q_\sigma^+}{P_c} = \frac{\omega a}{v}\left(\frac{-z^2-2z}{Z^2+2Z+1}\right),$$

reprezentată în figura 9.

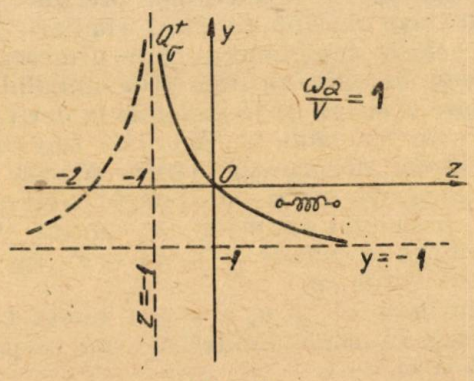


Fig. 9

6. *Compensarea serie cu condensatoare.* ($\lambda = l - \sigma$; $K = c$; $\pi = 0$)

$$z = \sqrt{\frac{c \cdot l}{(l-\sigma)c}} - 1; \; (z+1)^2 = \frac{c \cdot l}{(l-\sigma)c} = \frac{1}{1-\frac{\sigma}{l}};$$

$$\left(1-\frac{\sigma}{l}\right)(z^2+2z+1)=1;\quad z^2+2z+1-$$

$$-\frac{\sigma}{l}(z^2+2z+1)=1;\quad -\frac{\sigma}{l}=\frac{1-z^2-2z-1}{z^2+2z+1};$$

$$\frac{\sigma}{l}=\frac{z^2+2z}{z^2+2z+1};\quad \frac{Q_\sigma^-}{P_c}=\frac{\omega a}{v}\left[\frac{z^2+2z}{(z+1)^2}\right]=Y_\sigma^-;$$

$$Y_\sigma^-=\theta\left[\frac{z^2+2z}{(z+1)^2}\right];\quad \theta=\frac{\omega a}{v}=1;$$

$Y_\sigma^-=\dfrac{z^2+2z}{(z+1)^2}=1-\dfrac{1}{(z+1)^2}$, reprezentată în figura 10.

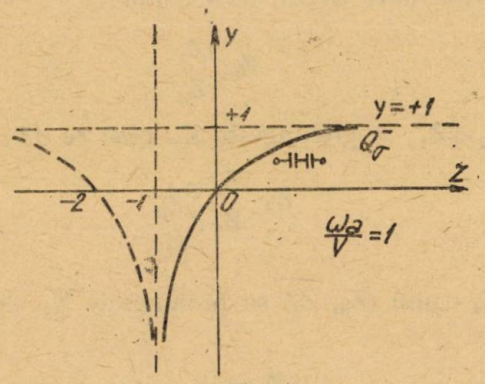


Fig. 10

7. *Compensarea derivație cu condensatoare* ($\lambda=l;\ \sigma=0;\ K=c+\pi$)

$$\frac{\Delta P_{qc}}{P_c}=\sqrt{\frac{(c+\pi)l}{c\cdot l}}-1;\ \frac{\pi}{c}+1=\left(\frac{\Delta P_{qc}}{P_c}+1\right)^2;$$

$$\theta=\frac{\omega a}{v}=1,$$

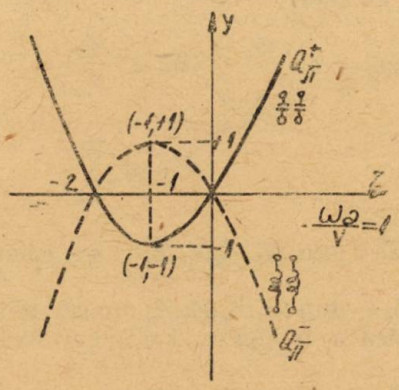


Fig. 11

iar

$$Y_\pi^+=\frac{Q_\pi^+}{P_c}=\frac{\omega a}{v}(z^2+2z),$$

reprezentată în figura 11.

8. *Compensarea derivație cu reactoare.* ($\lambda=l;\ \sigma=0;\ K=c-\pi$)

$$\frac{\Delta P_{qc}}{P_c}=\sqrt{\frac{(c-\pi)l}{l\cdot c}}-1;\ -\frac{\pi}{c}=\left(\frac{\Delta P_{qc}}{P_c}\right)^2+$$

$$+2\frac{\Delta P_{qc}}{P_c}=z^2+2z,$$

iar

$$Y_\pi^-=\frac{Q_\pi^-}{P_c}=-\frac{\omega a}{v}(z^2+2z),$$

reprezentată în figura 11.

Prin compunerea figurilor 9, 10 și 11 rezultă figura 12, în care se poate urmări cu mai multe detalii raportul:

$$\rho_z=\frac{y}{z}=\frac{Q}{\Delta P_{qc}}.$$

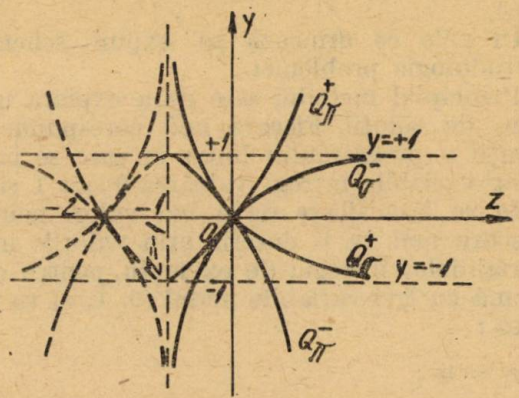


Fig. 12

Concluzii

Pe baza studiului comparativ referitor la compensarea serie și derivație cu reactoare sau condensatoare, se poate afirma că folosirea simultană a sistemelor de coordonate y, x și y, z oferă o imagine mai exactă asupra sistemelor de compensare. Pentru studii cantitative este suficient sistemul de coordonate y, x, iar pentru studii calitative este de preferat sistemul de coordonate y, z. În tehnica reglajului compensării este avantajoasă folosirea sistemului de coordonate y, z.

Bibliografie

[1] Rudenberg, R. *Elektrische Hochleistungsübertragung auf weite Entfernung.*

[2] Ulianov, S. A. *Regimuri tranzitorii ale sistemelor electrice.* Editura tehnică, București, 1967.

[3] Zaleschi, A. M. *Transportul energiei electrice.* Editura tehnică București, 1951.

(Articol intrat în redacție la 8 aprilie 1970)

O metodă de cercetare operațională cu multiple aplicații: ramificare și frontiere (branch and bound) (II)*)

Dr. ing. A. Măcriș**)

Programare liniară cu mai multe variabile booleene (0,1)

La acest model se reduc majoritatea problemelor de amplasare a noilor unități. Funcția-criteriu constă în minimizarea cheltuielilor anuale de exploatare; variabilele (X_i) reprezintă noile unități proiectate a se construi ($X_i = 1$ sau $X_0 = 0$), iar restricțiile sînt de ordin tehnologic (în centrale electrice: acoperirea energiei necesare, acoperirea vîrfurilor de putere etc.).

În cele ce urmează se expun schema și metodologia problemei.

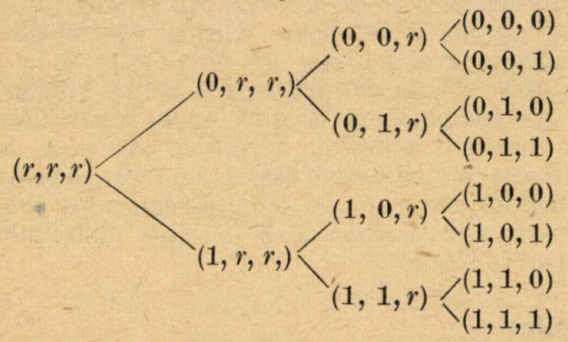
Principiul metodei este de a explora un arbore de soluții. Fiecare nod corespunde unei soluții a programului liniar în care se impune unor variabile întregi valoarea 0 sau 1 și celelalte se lasă libere de a lua valori neîntregi. Fiecare nod va fi descris prin valorile impuse variabilelor întregi; de exemplu, pentru o problemă cu trei variabile nodul (0, 1, r) va putea avea:

$y_1 = 0$;

$y_2 = 1$;

y_3 este liber să ia valori neîntregi.

Arborele soluțiilor de explorat se descrie în felul următor:



Numai soluțiile ultimei coloane corespund problemei inițiale. Avantajul metodei „ramificare și frontiere" este acela că permite evitarea explorării complete a arborelui.

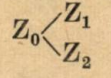
*) Partea I a acestui articol s-a publicat în nr. 8/1970 al revistei „Energetica".

**) Dr. ing. A. Măcriș este directorul întreprinderii „Energomontaj".

Într-adevăr, plecînd de la stînga, valoarea funcției economice pentru un nod constituie o bornă inferioară pentru valorile pe care le poate lua funcția economică în toate nodurile care urmează spre dreapta. Este de ajuns să remarcăm că se impun restricții suplimentare fixînd valori întregi variabilelor care mai erau încă libere.

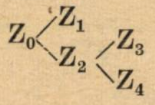
Plecînd de la stînga, se prelungește la fiecare iterație ramura al cărei nod are cea mai mică funcție economică, pînă cînd se găsește o soluție întreagă pentru care funcția economică să fie inferioară tuturor funcțiilor economice ale nodurilor agățate.

Astfel, dacă avem, de exemplu:



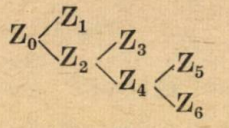
(1)

cu $Z_2 < Z_1$, se prelungește Z_2, ceea ce dă:



(2)

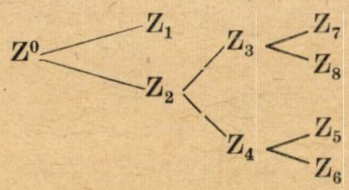
Cu $Z_4 < \min(Z_3, Z_1)$ se prelungește Z_4, ceea ce dă:



(3)

Dacă $Z_5 \leqslant \min(Z_1, Z_3, Z_5)$, s-a găsit soluția cu numere întregi optimă, pentru că: $Z_5 \leqslant Z_1 \leqslant Z$ din toate soluțiile obținute prin prelungirea lui Z_1; $Z_5 \leqslant Z_3 \leqslant Z$ din toate soluțiile obținute prin prelungirea lui Z_3;

Dacă $Z_3 < \min(Z_1, Z_5, Z_6)$ trebuie prelungit Z_3, ceea ce dă:



(4)

Dacă $Z_7 \leqslant \min(Z_1, Z_5, Z_6, Z_8)$, s-a găsit soluția optimă.

Dacă $Z_5 \leqslant \min(Z_1, Z_6, Z_7, Z_8)$, exista deja soluție optimă fără a fi siguri, iar acum există siguranța.

Dacă $Z_1 < \min(Z_5, Z_6, Z_7, Z_8)$, trebuie prelungită ramura Z_1.

Metoda garantează ajungerea la optim, dar nu se știe aprioric prețul. Acest preț poate fi foarte ridicat pentru că putem explora mai mult de 2^n noduri, adică mai multe soluții decît acelea cu numere întregi.

Dacă există n amplasamente (noduri), numărul rețelelor este 2^n, deoarece în fiecare nod

există două soluții : 0 și 1. Scopul metodei este reducerea la maximum a numărului de rețele studiat.

Modelul raniței și al barierei (the knapsack and turnpike model)

Problema inițială care a dat denumirea metodei se punea astfel :

Să se încarce o raniță, avînd capacitatea A cu obiecte de valoare maximă. Să se aleagă, dintr-o mulțime de obiecte, o submulțime care să maximizeze funcția :

$$[max]f = \sum_{1}^{n} c_i\, x_i,$$

cu restricțiile :

$$x_i = 0 \text{ sau } 1\,;\ i = 1,2,\ldots,n$$

$$\sum_{1}^{n} a_i\, x_i \leqslant A$$

în care :

a_i este greutatea obiectului i ;

c_i — valoarea obiectului i.

Problemele care se reduc la acest tip sînt foarte numeroase. Ele par uneori simple, dar numai în aparență. Să considerăm un caz extrem de simplu :

Să încărcăm un șlep de 100 t cu următoarele trei tipuri de obiecte :

$a_1 = 49$ t ;	$c_1 = 20$ mii lei ;
$a_2 = 50$ t ;	$c_2 = 75$ mii lei ;
$a_3 = 51$ t ;	$c_3 = 102$ mii lei.

Dacă obiectele ar fi divizibile, problema s-ar rezolva simplu calculînd raportul $\frac{c_i}{a_i}$ și alegînd obiectul cu acest raport maxim pînă la concurența capacității disponibile.

În exemplul dat, raportul maxim îl reprezintă obiectul 3 cu raportul $\frac{102}{51} = 2$, iar valoarea maximă a încărcăturii ar fi pentru $\frac{100}{51} = 1{,}96$ obiecte cu valoare maximă :

$f = 1{,}96 \cdot 102 = 200$ mii lei.

Întrucît obiectele sînt indivizibile, ne putem gîndi să luăm o unitate din obiectul de tipul 3 și o unitate din obiectul de tipul 1 pentru a completa cele 100 t. Valoarea corespunzătoare acestei strategii este de 122 mii lei. Valoarea optimă însă se obține luînd două unități de tipul 2 și este de 150 mii lei.

Pentru probleme mai complicate, calculul nu se mai poate face ușor prin enumerarea posibilităților. Metoda „ramificare și frontiere" ne conduce la o soluție optimă.

După cum s-a enunțat, pentru fiecare problemă trebuie găsită metoda de partiționare și metoda de calcul al limitei superioare (fiind vorba de maximizare).

Pentru problema raniței se folosește următorul algoritm :

Se verifică nebanalitatea problemei, verificînd cel puțin pentru un indice $i = 1,2,\ldots,n$

$$a_i \leqslant A.$$

Dacă $\sum_{i=1}^{n} a_i \leqslant A$, toate obiectele pot fi încărcate și problema este banală.

Dacă nu este acest caz, se aranjează obiectele în ordinea descărcătoare a rapoartelor $\frac{c_i}{a_i}$.

Se acordă nodului 1 valoarea $B(1) = 0$, și submulțimile $I_i = \varphi$, $E_i = \varphi$. Acestea reprezintă partiționarea mulțimii soluțiilor, și anume : I_i reprezintă submulțimea care conține obiectul x_i, iar E_i submulțimea care nu conține obiectul x_i. Partiționarea se începe cu obiectul care ocupă locul 1 în lista ordonată după criteriul $\frac{c_i}{a_i}$, ca în figura 22. Aici nodul 1 conține toate mulțimile de soluții. Nodul 2 nu conține obiectul j ; pentru acest nod $I_2 = \varphi$, iar $E_2 = j$. Nodul 3 conține obiectul j, deci submulțimile sînt : $I_3 = j$, $E_3 = \varphi$. Nodul 4 nu conține obiectul m,

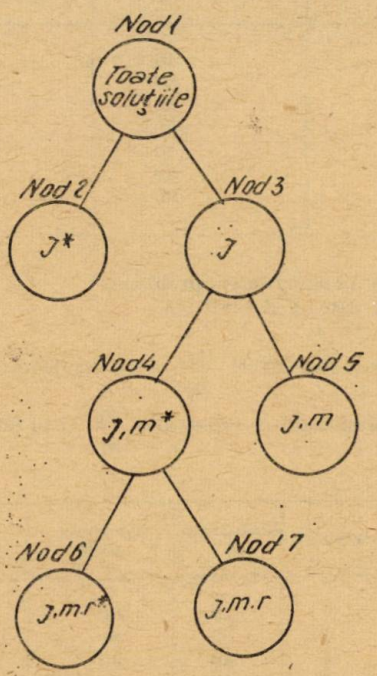


Fig. 22 :

$I_1 = \varphi$; $I_2 = \varphi$; $I_3 = j$; $I_4 = j$; $I_5 = j, m$; $I_6 = j$; $I_7 = j, r$; $E_1 = \varphi$; $E_2 = j$; $E_3 = \varphi$; $E_4 = m$; $E_5 = \varphi$; $E_6 = m, r$; $E_7 = m$.

deci submulțimile sînt : $I_4 = j$, $E_4 = m$. Nodul 5 conține obiectul m, deci $I_5 = j, m$; $E_5 = \varphi$. Nodul 6 nu conține obiectul r, deci $I_6 = j$, ca și în nodul 4, ca și în nodul 3, iar $E_6 = m, r$. În nodul 7, $I_7 = j, r$, iar $E_7 = m$ etc.

De fiecare dată se ia nodul terminal cu cea mai mare valoare și de aici se continuă ramificația după regula arătată, calculînd pentru fiecare nod limita superioară $B_{(n)}$, astfel:

În fiecare nod se testează fezabilitatea submulțimii de soluții verificînd dacă

$$\sum a_i \leqslant A$$

$$i \in I_n$$

Dacă verificarea nu reușește, se trece $B_{(n)} = -999$; în mod contrar se trece la calculul limitei superioare. Apoi în fiecare nod se introduc cît mai multe obiecte, aparținînd mulțimii $I_n \cup E_n$, pînă cînd greutatea totală încărcată ajunge exact A.

Se calculează valoarea acestei încărcături $B_{(n)}$.

Dacă am atins limita superioară, problema este rezolvată, dacă nu, continuăm cu ramificarea.

Aplicație

Într-un vagon de 100 t care se trimite pe șantier, se cere să se încarce obiecte de valoare maximă, pentru a produce o valoare de plan maximă.

Obiectele au greutățile și valorile din tabelul 1.

Tabelul 1

Nr. obiectului	Greutatea a_i, t	Valoarea c_i, mii lei
1	40	46
2	50	60
3	30	10
4	10	10
5	10	3
6	40	20
7	30	60

Se verifică nebanalitatea problemei:

a) Orice a_i este $< A$ (100 t);

b) $\sum a_i > 100$ t.

Se calculează rapoartele $\frac{c_i}{a_i}$ și se aranjează obiectele în ordinea descărcătoare a raportului $\frac{c_i}{a_i}$ ca în tabelul 2.

Tabelul 2

Indicele i	Obiectul nr.	Greutatea a_i, t	Valoarea c_i, mii lei	c_i/a_i
1	7	30	60	2
2	2	50	60	6/5
3	1	40	40	1
4	4	10	10	1
5	6	40	20	1/2
6	3	30	10	1/3
7	5	10	3	3/10

Începem calculul cu nodul 0 din figura 23. Acesta include toate soluțiile. Începem ramificarea folosind obiectul cu indicele 1 cu element-pivot, adică în nodul 2 îl excludem din soluție, iar în nodul 3 îl includem.

Calculăm limitele superioare astfel:

În nodul 2 luăm atîtea obiecte, în ordinea din tabelul 2, dar fără obiectul cu indicele 1, încît greutatea totală a lor să fie $A = 100$ t (chiar dacă trebuie să luăm și fracțiuni din obiect).

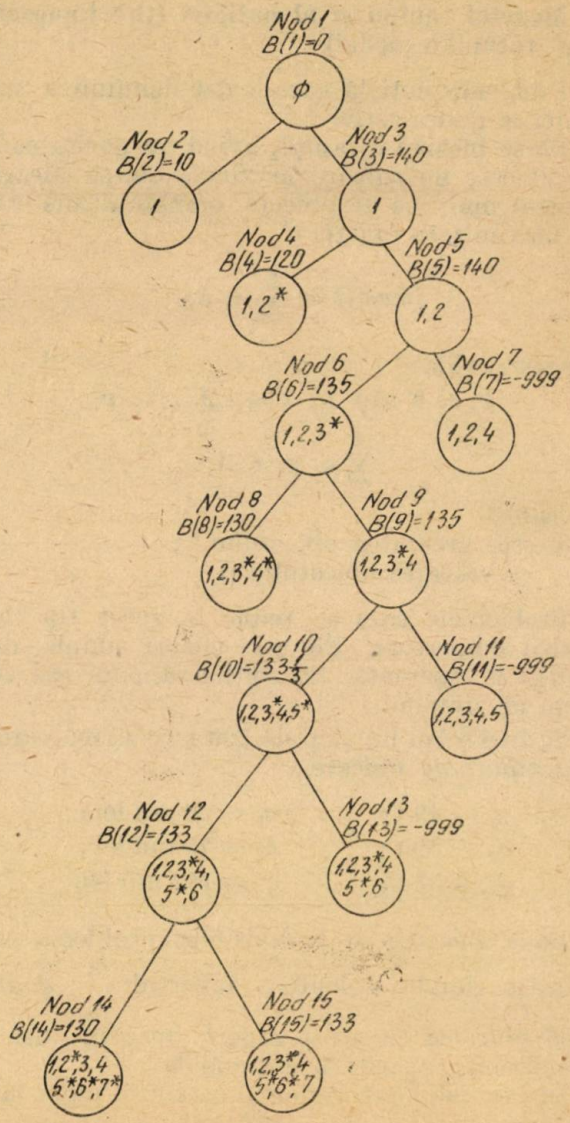


Fig. 23

Este necesar să luăm:

$$\sum a_i = a_2 + a_3 + a_4 = 50 + 40 + 10 = 100 \text{ t}.$$

Valoarea acestei încărcături, care reprezintă totodată limita acestui nod, este:

$$B(2) = \sum c_i = c_2 + c_3 + c_4 = 60 + 40 + 10 = 110 \text{ mii lei}.$$

În nodul 3 includem și obiectul cu indicele 1:

$$\sum a_i = a_1 + a_2 + 1/2\, a_3 = 30 + 50 + 1/2 \cdot 40 = 100 \text{ t};$$

$$B(3) = \sum c_i = c_1 + c_2 + 1/2\, c_3 = 60 + 60 + 1/2.40 = 140 \text{ mii lei}.$$

$B(3)$ fiind limita superioară maximă, următoarea ramificație pornește din nodul 3, alegînd ca element-pivot obiectul cu indicele 2, adică în nodul 4 nu-l luăm în considerare, iar în nodul 5 îl luăm.

De remarcat că dacă în nodul 3 am fi avut o soluție cu numere întregi, am fi ajuns la soluția problemei.

În nodul 4 excludem obiectul cu indicele 2 :

$\sum a_i = a_1 + a_3 + a_4 + 1/2\ a_5 = 30 + 40 + 10 + 1/2.40 = 100$ t ;

$B(4) = c_1 + c_3 + c_4 + 1/2.c_5 = 60 + 40 + 10 + 1/2.10 = 120$ mii lei.

În nodul 5 includem obiectul cu indicele 2 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + 1/2.a_3 = 100$ t ;

$B(5) = c_1 + c_2 + 1/2.c_3 = 140$ mii lei.

Întrucît $B(5) > B(4)$, iar soluţia nu este cu numere întregi, ramificaţia o continuăm din nodul 5.

În nodul 6 excludem obiectul cu indicele 3 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_4 + 1/4.a_5 = 30 + 50 + 10 + 1/4.40 = 100$ t ;

$B(6) = c_1 + c_2 + c_4 + 1/4.c_5 = 60 + 60 + 10 + 1/4.20 = 135$ mii lei.

În nodul 7 includem obiectul cu indicele 3 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_3 = 30 + 50 + 40 = 120 > 100$ t.

Deci prezenţa obiectului cu indicele 3 nu poate constitui o soluţie cu numere întregi. Se trece, pe figura 2, $B(7) = -999$, iar ramificaţia se continuă din nodul 6, întrucît nici el nu reprezintă o soluţie cu numere întregi.

În nodul 8 excludem obiectul cu indicele 4 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + 1/2.a_5 = 30 + 50 + 1/2.40 = 100$ t ;

$B(8) = c_1 + c_2 + 1/2.c_5 = 60 + 60 + 1/2.20 = 110$ mii lei.

În nodul 9 includem obiectul cu indicele 4 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_4 + 1/4.a_5 = 30 + 50 + 10 + 1/4.40 = 100$ t ;

$B(9) = c_1 + c_2 + c_4 + 1/5.c_5 = 60 + 60 + 10 + 1/4.20 = 135$ mii lei.

Nici una din soluţii nu este cu numere întregi.

Întrucît $B(9) > B(8)$, continuăm ramificaţia din nodul 9.

În nodul 10 excludem obiectul cu indicele 5 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_4 + 1/3.a_6 = 30 + 50 + 10 + 1/3.30 = 100$ t ;

$B(10 = c_1 + c_2 + c_4 + 1/3.c_6 = 60 + 60 + 10 + 1/3.10 = 133,1/3$ mii lei.

În nodul 11 includem obiectul cu indicele 5 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_4 + a_5 = 30 + 50 + 10 + 40 = 130 > 100$t.

Deci prezenţa obiectului cu indicele 5 nu constituie o soluţie cu numere întregi. Deci $B(11) = -999$ şi se continuă ramificaţia din nodul 10.

În nodul 12 excludem obiectul cu indicele 6 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_4 + a_6 = 30 + 50 + 10 + 10 = 100$ t ;

$B(12) = c_1 + c_2 + c_4 + c_7 = 60 + 60 + 10 + 3 = 133$ mii lei.

Nodul 12 reprezintă o soluţie cu numere întregi. Explorăm mai departe arborele soluţiilor.

În nodul 13 includem obiectul cu indicele 6 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_4 + a = 30 + 50 + 10 + 30 = 120 > 100$ t ;

$B(13) = -999$.

Deci nu poate constitui o soluţie cu numere întregi.

Continuăm ramificaţia din nodul 12.

În nodul 14 excludem obiectul cu indicele 7 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_4 = 30 + 50 + 10 = 90$ t < 100 t ;

$B(14) = c_1 + c_2 + c_4 = 60 + 60 + 10 = 130$ mii lei.

În nodul 15 includem obiectul cu indicele 7 :

$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_4 + a_7 = 30 + 50 + 10 + 10 = 100$t.

$B(13) = c_1 + c_2 + c_4 + c_7 = 60 + 60 + 10 + 3 = 133$ mii lei.

Aceasta reprezintă soluţia problemei în numere întregi.

Concluzii

Metoda „ramificare şi frontiere" este foarte generală şi se aplică în numeroase cazuri. Exemplele date au ilustrat posibilităţile, dar acestea pot fi mult lărgite.

De exemplu, în ultima aplicaţie, cu metoda raniţei, se poate rezolva optim o problemă de investiţii, în care cu o anumită sumă de bani se doreşte să se realizeze un număr de obiecte, astfel ca eficienţa obţinută să fie maximă.

(Articol intrat în redacţie la 24 februarie 1970)

Energetica peste hotare

Dezvoltarea energeticii nucleare a R. F. a Germaniei în ansamblul energeticii nucleare mondiale

Dr. ing. C. Wlezek *)

Activitatea în domeniul energiei nucleare în R.F. a Germaniei a început din anul 1956. Practic, însă, se poate vorbi de o activitate susținută în acest domeniu de-abia din 1960.

După aproximativ paisprezece ani de cercetări, studii și lucrări de dezvoltare, s-a ajuns ca utilizarea energiei nucleare în R.F. a Germaniei să se afle în pragul concurenței comerciale. Atingerea acestui prag a constituit obiectivul a trei programe nucleare consecutive, în urma cărora în Germania de vest se găseau la jumătatea anului 1970 :

— 6 reactoare de putere și cercetări de putere ;
— 3 centrale nuclearoelectrice în funcțiune ;
— 5 centrale nuclearoelectrice în construcție ;
— 18 reactoare de cercetări și încercări de materiale la diverse centrale nucleare ;
— 2 reactoare de cercetări în construcție ;
— 2 centrale nucleare pentru export în construcție ;
— 1 vapor cu antrenare nucleară (Otto Hahn) ;
— un mare număr de reactoare de învățământ și studii pentru centrele medicale.

Situația actuală a dezvoltării energeticii nucleare în R.F. a Germaniei, cît și pentru viitorul apropiat, trebuie să fie înțeleasă în cadrul a două sisteme de coordonate : pe de o parte, situația internațională a energeticii nucleare, iar pe de altă parte situația energeticii generale a R.F. a Germaniei.

Deoarece dezvoltarea energeticii nucleare a R.F. a Germaniei este în multe privințe asemănătoare dezvoltării energeticii nucleare din S.U.A. de acum cîțiva ani, se va urmări tot timpul o paralelă între cele două țări. Evidențierea și comentarea cîtorva aspecte caracteritice acestei dezvoltări formează tema lucrării de față.

1. Dezvoltarea energeticii nucleare mondiale

În momentul în care R.F. a Germaniei făcea primele încercări în domeniul energiei nucleare, energetica nucleară mondială era deja dominată de alte țări, ca Anglia și Franța, care aveau pretenția unui rol conducător în dezvoltarea tehnicii nucleare și în utilizarea comercială a energiei nucleare. O îndelungată activitate în acest domeniu și o putere nucleară de circa 5000 MW susțineau această pretenție.

Între timp, în urma rezultatelor practice a început să se impună pe plan mondial tehnologia reactoarelor cu apă obișnuită, dezvoltate în S.U.A. și U.R.S.S.

Dacă în perioada 1960—1965 se mai discuta despre „luptă" între filiere, în special între gaze și apă, în etapa 1965—1968 erau clare avantajele reactoarelor cu apă. În această etapă s-au axat pe tehnologia reactoarelor cu apă obișnuită aproape toate statele vest-europene, cu excepția Franței și Angliei.

Ultima dovadă în problema recunoașterii tehnologiei reactoarelor cu apă a constituit-o decizia „recentă" (1968) a Franței de a-și orienta programul nuclear numai pe reactoare cu apă și de a renunța la reactoarele cu gaze GCR. Astfel, la aproximativ doi ani după luarea acestei hotărîri, ponderea filierelor este :

— reactoarele cu apă reprezintă 42,5 % din puterea în funcțiune și 82 % din totalul puterii în construcție și în contract ;

— reactoarele cu gaze GCR și AGR dețin 41,5 % din puterea în exploatare, dar pentru perspectivă se întrevede numai o cotă de 7 % din puterea în șantier sau în contract (practic terminarea vechilor contracte).

În aceste condiții apare clar dominarea deceniului 70 de către linia reactoarelor cu apă obișnuită.

Linia reactoarelor cu apă grea este încă nedefinită și se așteaptă rezultatele practice ale instalațiilor actualmente în construcție.

Privitor la reactoarele de perspectivă a căror maturitate comercială se prevede să se atingă în 1980, există încă mari semne de întrebare pe linia realizărilor tehnice și economice.

Dar chiar și pentru aceste reactoare de perspectivă apare în prezent o concentrare clară asupra a două tipuri, și anume :

— reactoare rapide reproducătoare cu sodiu ;
— reactoare de înaltă temperatură (cu gaze, abur supraîncălzit sau sodiu).

Un tablou de sinteză al situației actuale și de perspectivă pe plan mondial a diferitelor tipuri de reactoare este dat în figura 1.

În ceea ce privește puterea unitară a blocurilor în centralele nucleare pînă în 1975 se preconizează ca puterile unitare maxime să fie între 600 și 1200 MW_e, cu tendințe de creștere.

*) Camil Wlezek este inginer șef la ISPE.

Reactoare cu gaz				Reactoare cu apă						Reactoare cu sodiu	
Magnox (U_{nat})		AGR	HTGR	H_2O — apă în fierbere	H_2O — apă în fierbere supraîncălz.	H_2O — apă în fierbere sub presiune	Reactoare moderate cu D_2O (U_{nat})			termic	FBR
Franța	Anglia						D_2O	CO_2	H_2O; CnHm		
G—1 (53) 6 MW	Calder Hall A (53) 2 × 35 MW	Windscale (58) 28 MW	Dragon (60) 20 MW[3]	Obninsk (51) 5 MW	Beloiarsk (51) 100 MW	Shipping-port (55) 100 MW	NPD-2 (57) 20 MW	Bohunice (58) 110 MW	Halden (58) 25 MW[3]	SRE (54) 6 MW	EBR-1 (49) 0,2 MW[1]
			Peach Bottom (60) 40 MW	EBWR (55) 5 MW	Pathfinder (60) 62 MW				Whiteshell (61) 35 MW[3]		Dounreay-1 (55) (60 MW[3])
St. Laurant-1 (63) integrat 480 MW vas de beton	Oldbury (63) 2 × 300 MW vas de beton			Dresden-1 (57) 180 MW	Bonus (61) 15 MW	Yankee (57) 145 MW	MZFR (62) 50 MW	Lucens (62) 8 MW	Essor (63) 30 MW[3]	Hallam (59) 75 MW	Enrico Fermi (56) 90 MW
	Wylfa (64) 2 × 590 MW		AVR (61) 15 MW	KRB (63) 240 MW	HDR (65) 25 MW	KWO (65) 300 MW	Candu (60) 200 MW	EL-4 (62) 80 MW	SGHWR (63) 100 MW	KNK (65) 18 MW	EBR-2 (57) 18 MW
St. Laurant-2 (67) 500 MW	→	Dungeness-B (65) 2 × 625 MW						KNK (66) 100 MW	Marviken (64) 140 MW		Rapsodie (62) 20 MW
			Ft. St. Vrain (68) 330 MW	Würgassen (67) 640 MW		Stade (67) 630 MW					Dounreay-2 (66) 250 MW
Terminat filiera	Terminat filiera	Hartlepool (69) 2 × 625 MW					Atucha (68) 320 MW		Gentilly (66) 250 MW		Phenix (69) 250 MW
		→	Proiectat THTR (70) 300 MW	Burlington (69) 1115 MW		Biblis (69) 1150 MW	Bruce (68) 4 × 750 MW			→	Weisweiler (71) 300 MW
Putere totală, MW_e 2200	5000	5000	400	34 000	300	53 000 [2]	6 000	300	550	100	650

[1] 1951 — obținerea pentru prima oară a energiei electrice pe cale nucleară; [2] inclusiv țările din est; [3] putere termică.
Cifrele în paranteză reprezintă ani și începerea construcției.

Fig. 1. Dezvoltarea tipurilor de reactoare pe plan mondial

Către sfîrşitul deceniului 70 se aşteaptă o creştere a puterii unitare la 1500 — 2000 MW_e, în special în S.U.A., Europa de vest, Japonia.

Din punctul de vedere al economicităţii, cîteva unităţi sînt pe punctul de a atinge această linie, dar pentru întegul front al CNE problema rămîne încă deschisă. În ţările puternic dezvoltate se preconizează ca această linie să fie atinsă în jurul anului 1970, iar pentru celelalte ţări către 1980 sau 1990.

În general, pentru viitorii zece ani se prevede o expansiune rapidă a centralelor nucleare în ţările mici şi în curs de dezvoltare. Pentru ele se întrevede în special utilizarea reactoarelor cu apă obişnuită şi a reactoarelor cu apă grea, dacă ultimele vor depăşi faza „bolilor copilăriei" şi a dificultăţilor create de aprovizionarea cu apă grea.

Pentru viitorul îndepărtat se întrevede ca, în afară de utilizarea principală pentru producerea de energie electrică, energia nucleară să aibă şi alte utilizări în, domenii ca : desalinarea apei de mare, producerea de căldură în termoficare, transporturi etc.

2. Organizarea industriei nucleare şi tipurile de reactoare

Datorită faptului că lucrările de dezvoltare a centralelor nucleare solicită costuri deosebit de mari pentru rezolvarea unor probleme tehnice complicate, iar riscurile financiare şi volumele mari de lucru sînt raportate la un număr relativ redus de unităţi, în industria nucleară se înregistrează un puternic fenomen de concentrare. Astfel piaţa americană de centrale nuclearoelectrice este dominată de două firme : firma „General Electric" pentru reactoarele cu apă în fierbere şi „Westinghouse" pentru reactoarele cu apă sub presiune. Firmele „Babcock" şi „Combustion" se ţin aproape cu tendinţa de a se afirma pe măsură ce centralele nucleare se vor impune.

Asemenea concentrări ale industriei în domeniul centralelor nucleare s-au făcut simţite şi în Anglia, Franţa, Suedia, Elveţia etc., de multe ori chiar cu depăşirea graniţelor statale.

În aceste condiţii, posibilităţile pentru ţările mici, în special cele europene, de a merge singure pe linii absolut proprii sînt depăşite şi se impune racordarea la nivelul tehnic mondial atins în momentul respectiv.

Faţă de nota dominantă a tehnologiei S.U.A. pe piaţa vest-europeană, industria R.F. a Germaniei, care a apărut mai tîrziu în domeniul tehnicii nucleare, nu a putut face altceva decît să preia prin licenţă nivelul tehnic atins în direcţiile cele mai probabile şi să încerce să se organizeze de aşa natură, încît în cel mai scurt timp să poată concura pe piaţa internă şi externă. Fiindcă reactoarele cu apă obişnuită aveau cele mai mari şanse, firmele industriale vest-germane s-au îndreptat în principal către acestea. Pentru aceasta, încă din 1960—1963, firmele vest-germane „Siemens" şi AEG au încheiat contracte de licenţă cu „Westinghouse" şi „General Electric". Ulterior, în 1968, pentru a putea face faţă presiunilor din exterior, firmele „Siemens", AEG, „Nukem", „Interatom", „Demag/Babcock" au format concernul „Kraftwerk Union" (KWU).

Astăzi piaţa vestică a reactoarelor de apă uşoară este împărţită între cinci mari producători, astfel :

— patru în S.U.A. — „General Electric" şi „Westinghouse (care deţin 77% din totalul pieţii mondiale de reactoare cu apă obişnuită), urmate de „Babcock and Wilcox" şi „Combustion Engineering".

— unul în Europa — KWU.

În Suedia se afirmă în prezent firma ASEA, prin construcţiile naţionale de centrale nucleare.

În ceea ce priveşte piaţa reactoarelor cu gaze, aceasta se împarte între două întreprinderi engleze, la care în ultima vreme s-a mai afiliat şi o firmă vest-germană, BBK, rezultată din fisiunea sectoarelor de reactoare ale firmelor „Brown-Boveri" şi „Krupp". Deşi aceste firme au participat la toate competiţiile de construcţie de centrale nucleare din ultimii trei ani, nu au putut contracta nici o lucrare în afara graniţelor Marii Britanii.

Şi în domeniul reactoarelor cu apă grea, alături de Canada şi Anglia s-a pronunţat în ultima vreme pe piaţa internaţională şi KWU.

În Orientul Îndepărtat, marii producători industriali din Japonia au tendinţa de a se elibera cît mai mult de partenerii americani, în vederea desfăşurării unei politici de afaceri proprii.

Tipurile de reactoare nucleare pe care este axată industria vest-germană sînt sintetizate în diagrama din figura 2. Din această figură se observă ponderea pe care o au reactoarele cu apă obişnuită în fierbere sau sub presiune, urmate de reactoarele cu apă grea.

3. Ponderea energiei nucleare

Din punctul de vedere al producţiei de energie electrică, la nivelul anului 1968, R.F. a Germaniei, cu o putere instalată totală de aproximativ 47 200 MW_e şi o producţie de energie electrică de 203 TWh (tabelul 1), se situa pe plan de egalitate cu Anglia şi înaintea Franţei, Italiei şi Canadei.

Tabelul 1

Producţia de energie electrică în 1968	S.U.A.	R.F.G.	Anglia	Canada	Franţa	Italia
TWh	1433	203	204	175	115	102

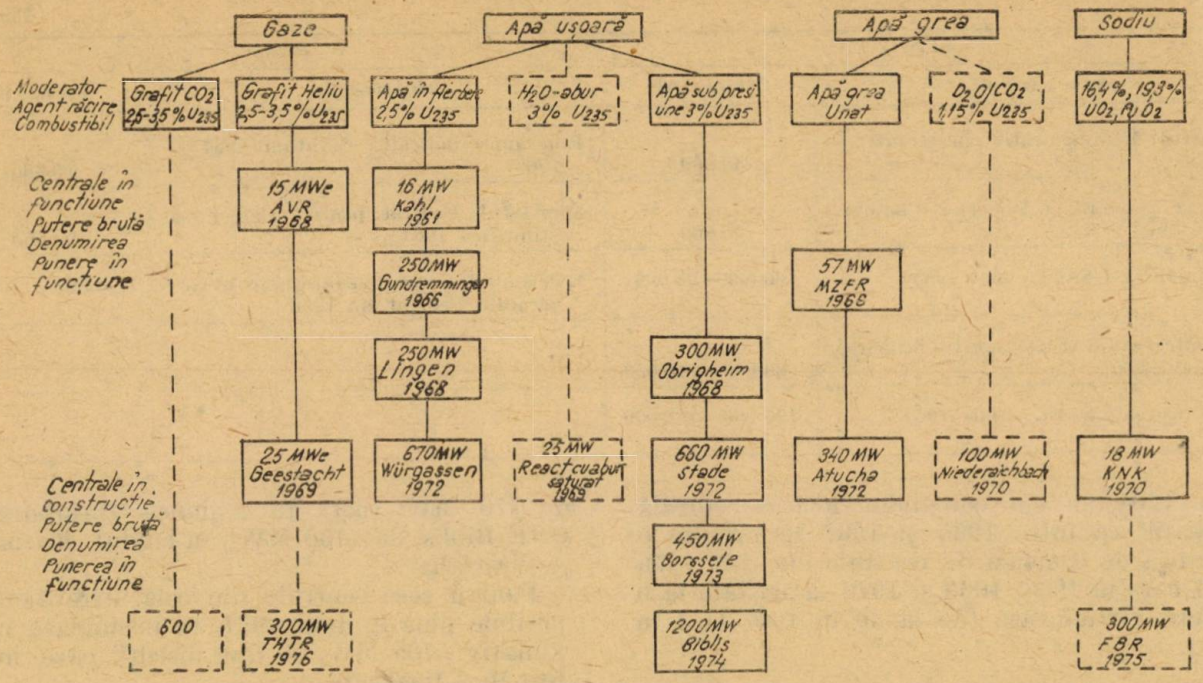


Fig. 2. Tipurile de reactoare nucleare și centralele nucleare reprezentative pe filiere produse de industria vest-germană

În structura puterii electrice a R.F. a Germaniei, ca de altfel în toată Europa de vest, ponderea principală o reprezintă centralele termoelectrice pe cărbune, urmate de cele pe păcură, centralele hidroelectrice și centralele termoelectrice pe gaze. Această structură o reliefează și tabelul 2, care redă structura puterii electrice din R.F. a Germaniei în 1968 și din care se remarcă cota redusă de putere nucleară în comparație, de exemplu, cu Anglia, unde această valoare urcă la 10%.

Tabelul 2

Categoria de centrale electrice după tipul agentului purtător de energie	%
Hidro	11,2
Cărbune brun	39,1
Lignit și turbă	36,1
Combustibil lichid	8,1
Gaze naturale	3,3
Centrale nucleare	1,3
Diverse (gunoaie, gaze industriale etc.)	0,9

Ritmul de creștere a puterii instalate și a producției totale de energie electrică a fost în perioada 1958—1968 de circa 118%, iar în 1968 de 10,7%. Planurile de viitor prevăd să se ajungă în anul 2000 la o putere instalată totală de ordinul a 200 000 MW, practic de 4 ori puterea actuală.

Referitor la cota centralelor nuclearoelectrice, pentru 1970 se prevedea să fie instalată o putere nucleară totală de ordinul a 2000 MW_e. Pentru anul 1975 se preconiza, la nivelul anului 1968, să fie în funcțiune un număr de 14 unități de cîte 600 MW_e cu o putere totală de 8400 MW_e. Pentru etapa de perspectivă s-au făcut numeroase studii și prognoze, mai mult sau mai puțin optimiste, după modelul celor efectuate în S.U.A.

În tabelul 3 se prezintă comparativ aprecierile după diverse surse privind puterea centralelor nucleare ce se vor instala pînă în 1980 în S.U.A. și în R.F. a Germaniei.

Conform datelor din tabelul 3, R.F. a Germaniei ar fi, din punctul de vedere al puterii nucleare, pînă în 1980, pe plan de egalitate cu Anglia și Japonia, care prevăd instalarea a aproximativ 20 — 25 de mii MW_e și înaintea Franței și Italiei cu circa 10—12 mii MW_e, dar mult în urma S.U.A., care prevede instalarea a aproximativ 150 000 MW_e.

Evoluția și atingerea puterii nucleare de 150 000 MW_e în S.U.A., după datele cunoscute pînă în prezent, este sintetizată în tabelul 4.

După ce s-au semnat contractele pentru primele centrale nucleare demonstrative — Dresden—1, Yanke—1, Indian Point—1 — în anii 1955/1956, au trecut 6—7 ani pînă cînd s-au mai semnat alte contracte de centrale nucleare, dintre care este demn de remarcat contractul pentru centrala Oyster Creek—1, de 515/640 MW_e, datorită prețurilor surprinzător de mici (sfîrșitul anului 1963).

Tabelul 3

S.U.A.		R.F.G.	
Sursa aprecierii	Puterea, MW	Sursa aprecierii	Puterea, MW
Raportul USAEC către președinte — 1962	40 000	Programul indicativ Euratom 1964—1965	15 000
Comisia Federală a Energiei — octombrie 1964	70 000	Ministerul Federal pentru Cercetarea Științifică 1965	20 000
Comunicarea USAEC—mai 1965	60 000—90 000	Buletinul de presă și de informare al Guvernului Federal din 1966	25 000—30 000
Comunicarea USAEC (Raportul Seaborg)—iunie 1966	80 000—110 000		
Comunicarea USAEC—iunie 1967	120 000—170 000		

În 1964 nu s-a comandat nici o centrală nucleară, ca între 1965 și 1967 să urmeze o avalanșă de comenzi de centrale nucleare (57), după care în 1968, 1969 și 1970 să asistăm la o scădere vertiginoasă (de la 30 în 1967 la 4 în 1969).

Tabelul 4

Evoluția comenzilor de CNE în S.U.A

Anul	Numărul de centrale comandate	Puterea nucleară comandată MW
1964	0	0
1965	7	4 200
1966	20	16 000
1967	30	24 500
1968	16	14 400
1969	4	3 000
Total	77	62 100

Similar, în R.F. a Germaniei, în cadrul primului program nuclear național s-au construit reactoare de cercetări de putere, urmate, în cadrul celui de-al doilea program nuclear, de trei centrale nuclearoelectrice demonstrative (tabelul 5).

Fără a se aștepta rezultatele experimentale ale primelor centrale demonstrative, s-a trecut, mai mult pe baza rezultatelor internaționale decît pe baza experienței proprii, la construcția de centrale nuclearoelectrice de mare putere prin comanda CNE Stade și Würgassen de cîte 600 MW_e (tabelul 6).

Cu începerea construcției acestor centrale, pe considerente pur economice, fără subvenție de la stat, se începea etapa competitivității economice a centralelor nuclearoelectrice.

Imediat după anunțarea construcției acestor centrale au început discuții pentru lansarea a încă circa 20 de unități.

Față de numărul mare de centrale nucleare a căror construcție se anunțase în 1968 (aproximativ 20), au fost comandate în 1969 numai două unități, și anume : CNE Brunsbüttelkoog, de 770 MW, (net), în regiunea Hamburg, și CNE Biblis, de 1150 MW_e, în landul Rhenania—Westfalia.

Pentru zece centrale din cele întrevăzute ca posibile pînă în anul 1977, ce însumează aproximativ 5700 MW, se duc discuții care nu au fost încă finalizate.

La unele din centralele nucleare avute în vedere la nivelul anului 1968, a trebuit, după numeroase discuții, să se renunțe sau să fie înlocuite cu centrale clasice. Un exemplu în acest sens îl constituie centrala nuclearoelectrică Lauffen pe Neckar, de 750 MW_e, care inițial trebuie să fie gata în 1973, apoi a fost amînată în 1974, ulterior reamînată pentru 1976, ca la 6 oct. 1969 să se renunțe definitiv la ea și în locul ei să se construiască o centrală termoelectrică pe păcură la Marbach, cu grupuri de 250 MW_e.

Situații neclare au și alte centrale, ca, de exemplu, CNE Eichau (Baden — Würtemberg) care, echipată cu un reactor de 750 MW_e tip AGR în construcția lui BBK, trebuia să intre în funcțiune în 1974; pînă în prezent însă nu s-au început lucrările. Ulterior s-a anunțat că centrala va fi echipată cu un reactor BWR de 860 MW_e.

Lista centralelor în discuție pentru care există un oarecare grad de certitudine că s-ar putea realiza după 1970, cît și dinamica intrării în funcțiune a puterii nucleare după 1970 este dată în tabelul 6.

Din analiza datelor din tabelul 5 se constată că în prezent este în funcțiune o putere totală nucleară de 938 MW_e (brut), împărțită în opt unități, care în anul 1969 au produs o cantitate de energie electrică de aproximativ 5416 GWh.

Față de producția de energie electrică de origine nucleară din 1968, de 1952 GWh, producția anului 1969 reprezintă o creștere de 180%.

La centralele nucleare în construcție în R.F. a Germaniei trebuie adăugate centralele nucleare construite de industria vest-germană în străinătate, și anume : Atucha, echipată cu un

reactor PHWR de 340 MW_e, în Argentina, și Borselle, echipată cu un reactor PWR de 477 MW_e, în Olanda. Ambele sînt în construcție, prima cu termen de punere în funcțiune în 1972, iar a doua în 1973.

Cu aceste valori, cota-parte a producției de energie electrică de origine nucleară din totalul producției electrice a crescut de la 0,96 %*) în 1968 la 2,4 %*) în 1969. La nivelul anului 1972, cînd vor intra în funcțiune și centralele nucleare actualmente în construcție (tabelul 6), cota de putere nucleară va reprezenta 4 % din totalul puterii instalate.

Față de cei 938 MW_e existenți în 1970, apar ca sigur că se vor mai pune în funcțiune pînă în 1975 circa 3 400 MW_e, ceea ce înseamnă realizarea în 1975 a unei puteri nucleare de circa 4350 MW_e. Realizarea celorlalte centrale în discuție ar putea ridica această putere la 9500 MW_e.

Cifrele prezentate mai sus, comparate cu previziunile făcute la nivelul anilor 1964—1968 pentru anii 1970, 1975 și 1980, demonstrază o nerealizare a puterii nucleare prevăzute pentru anul 1970 și un oarecare grad de incertitudine în ceea ce privește realizarea plafonului prevăzut pentru anii 1975 și 1980.

4. Rezultate și tendințe

Comentînd rezultatele obținute pînă în prezent în centralele nuclearoelectrice în funcțiune și în construcție, cît și realizările actuale și de perspectivă ale industriei nucleare vest-germane, în cele ce urmează se prezintă, sistematizat pe domenii. cîteva dintre problemele principale.

4.1. Primele instalații cu caracter experimental din cadrul primului program nuclear — — ca, de exemplu, Kahl — au demonstrat siguranța în funcționare a reactoarelor cu apă obișnuită și gradul ridicat de disponibilitate al acestora.

4.2. Trecerea la treapta a doua, prin realizarea centralelor nucleare din cadrul „programului demonstrativ" (al doilea program nuclear) — Gundremmingen, Lingen și Obrigheim — și exploatarea lor timp de 1—3 ani au demonstrat capacitatea de exploatare și flexibilitatea acestor instalații.

La CNE Gundremmingen, în cadrul a trei ani de exploatare s-au făcut simțite lipsuri mai mult la partea de turbină decît la partea de reactor.

La CNE Lingen, în schimb, lipsurile s-au datorat în special neetanșeității circuitelor-anexă ale reactorului, care au condus la scăparea unei cantități de radioactivitate de 16 Ci în apa de răcire și la infectarea canalului Ems în luna august 1969.

Ulterior, datorită acelorași probleme de neetanșeități ale armăturilor circuitului primar, s-a ridicat activitatea aerosolilor din clădirea reactorului peste nivelele admise, astfel că a trebuit să fie limitat numărul de intrări în clădirea reactorului și atunci numai cu mască sau costum de protecție totală.

La CNE Obrigheim exploatarea a decurs pînă în prezent fără probleme deosebite, cu excepția unor neetanșeități la generatoarele de abur.

4.3. Centralele nucleare actualmente în construcție din filiera cu apă obișnuită formează faza comercială și se așteaptă ca prețul de producere a energiei electrice să fie inferior centralelor clasice.

Stadiul și ritmul de desfășurare a lucrărilor permit să se presupună că termenele planificate vor fi respectate.

Se poate remarca procedeul tehnologic folosit la CNE Würgassen de construcție a vasului de protecție al reactorului. Pentru a se scurta termenele, vasul de protecție al reactorului, sub forma unei sfere metalice de 27 m diametru, cîntărind 1200 t, a fost asamblat lîngă construcția de beton a reactorului și în paralel cu aceasta. Cînd a fost gata, sfera metalică a fost translatată pe șine de cale ferată în clădirea reactorului printr-un gol de construcție lăsat deschis pînă atunci. Acest procedeu a dus la scurtarea termenului cu aproximativ 8 luni.

În schimb, la centrala Niederaichbach (din filiera cu apă grea) dificultățile constructive la vasul moderatorului (sudura țevilor de presiune și deformarea pereților vasului), cît și unele defecțiuni de organizare la transport au condus la întîrzierea punerii în funcțiune a centralei cu 16 luni.

De asemenea au apărut și la centrala Geesthacht unele probleme ce nu sînt încă rezolvate (HTR cu turbine cu gaze), care au solicitat atît modificări organizatorice cît și susținute eforturi tehnice, fără a se ști încă dacă termenele prevăzute vor putea fi respectate.

4.4. În ceea ce privește mărimile unitare ale centralelor nucleare, se constată că s-au construit pînă în prezent blocuri reactor — turbină cu puteri de ordinul a 300 MW_e.

Bazată pe experiența acestor unități (la care nu s-au așteptat și rezultatele experimentale de funcționare, s-a început construcția de unități de 600 MW_e (CNE Stade și Würgassen). Pasul către etapa de viitor a fost făcut prin începerea unităților de 770 MW_e (CNE Brunsbüttelkoog) și de 1150 MW_e (CNE Biblis). Prin începerea construcției CNE Biblis se atinge în Europa nivelul puterilor unitare al centralelor nucleare ce se construiesc în S.U.A.*)

4.5. Parametrii aburului și randamentele instalațiilor cele mai noi în construcție se dau în

*) Raportat la o producție totală de 203,3 TWh în 1968 și de 226 TWh în 1969.

*) În S.U.A. sînt în prezent în șantier 30 blocuri reactor-turbină de 1000 MW_e și chiar mai mari.

Fig. 3. Parametrii atinși de diferite tipuri de centrale nucleare în R. F. a Germaniei

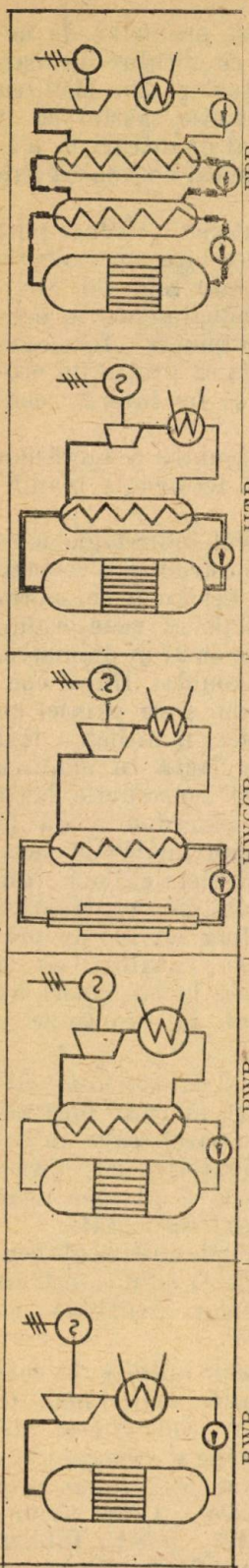
Schema termică simplificată						
Tipul	BWR	PWR	HWGCR	HTR	FBR	
Denumirea	Würgassen	Biblis	Neideraichbach	Jülich	SNR	
Puterea unitară	600 MW_e	1200 MW_e	100 MW_e	46 MW_t, 15/13,5 MW_e	300 MW_e	
Combustibilul	UO_2	UO_2	U_{nat}	U + Th	UO_2, $PuO > 20\%$	
Moderatorul	H_2O	H_2O	D_2O	Grafit	–	
Agentul de răcire:						
– natura	H_2O	H_2O	CO_2	He	Na	
– presiunea, at	89	158	60	10,2	–	
– temperatura, °C	340	316	550	850	560	
Agentul de lucru:						
– natura	abur	abur	abur	abur	abur	
– presiunea, at	74	52	170	75	165	
– temperatura, °C	285	265	530	505	505	
η, %	28,6	33,2	35	40	41	

figura 3. Dacă se compară cu realizările pe plan mondial, se găsesc valori similare, ceea ce denotă atingerea plafonului tehnic actualmente stabilizat.

4.6. Tipurile de reactoare pe care se bazează în prezent programul nuclear sînt cele cu apă obișnuită în fierbere și sub presiune. Pentru perspectivă se întrevede dezvoltarea reactoarelor de înaltă temperatură, abur — — pentru care s-a construit HDR — Grosswelzheim —, și mai ales cu gaze, prin construcția prototipului THTR, de 300 MW_e, cu elemente de combustibil sferice din carbon pirolitic. Dacă rezultatele vor fi satisfăcătoare și se vor putea dezvolta și turbinele de gaze de mărimi unitare corespunzătoare, se preconizează aplicarea ciclului cu gaze la unitățile HTR sau THTR de 300 MW_e.

O mare atenție s-a dat și se dă dezvoltării reactoarelor rapide reproducătoare.

După ce s-au început cercetări pe trei tipuri de reactoare rapide (răcite cu abur, gaze și sodiu), pentru a putea atinge cît mai repede nivelul tehnicii mondiale în acest domeniu, s-a renunțat la primele două tipuri și toate eforturile s-au concentrat asupra reactorului răcit cu sodiu, din care primul prototip, de 300 MW, este așteptat către 1975.

Dacă pentru celelalte tipuri de reactoare, industria nucleară autohtonă oarecum s-a specializat (KWU pentru BWR, PWR și apa grea; BBK pentru AGR și GHH pentru HTR cu heliu), pentru FBR se așteaptă o colaborare internațională.

4.7. Valorile de investiții pentru centralele nucleare din cadrul programului nuclear se sintetizează în tabelul 5. În costul indicat este inclusă și prima încărcătură de combustibil.

Valorile realizate de centralele nuclearoelectrice comerciale Würgassen și Stade, cu cîte 400 mil. DM, și Biblis, cu 620 mil. DM, sînt apropiate de cele realizate în S.U.A., ca, de exemplu Diablo—Canyon—2 (PWR), de 1156 MW_e, cu o investiție de 640 mil. DM.

4.8. Aprovizionarea cu uraniu a centralelor nucleare din program este una dintre problemele grele căreia trebuie să-i facă față industria vest-germană.

Pentru primele unități s-au încheiat contracte cu S.U.A. de livrare de uraniu îmbogățit, iar ulterior s-au făcut prospecțiuni interne.

Din necesarul de uraniu sub formă de U_3O_8 pînă în 1980, de circa 53 000 (corespunzător dinamicii din tabelul 7), din surse interne nu se pot asigura decît 10 000 t, restul trebuind să fie importat.

Întrucît programul nuclear vest-german se bazează în întregime pe uraniu îmbogățit, R.F. a Germaniei a inițiat construirea în Europa, în colaborare cu Anglia și Olanda, a unei fabrici de îmbogățire izotopică a uraniului prin pro-

Tabelul 5

Reactoare de putere şi centrale nuclearoelectrice în R.F. a Germaniei

Denumirea	Tipul reactorului	Puterea electrică brută, MWe	Anul începerii şi anul intrării în funcţiune	Investiţia totală, mil. DM	Energia electrică produsă, GWh	
					1968	1969
Reactoare de putere şi cercetări de putere (programul nuclear I)						
VAK — Kahl	BWR	16	1958/1961	40	114,17	90,24
MZFR — Karlsruhe	PHWR	58	1962/1966	156	105,18	173,90
AVR — Jülich	HTR	15	1962/1968	100	41,55	73,27
HDR — Grosswelzheim	BWR	25*)	1965/1969	90	—	—
KNK — Karlsruhe	reactor cu Na	20	1965/1970	110	—	—
Centrale nuclearoelectrice (programul II)						
KRB — Gundremmingen	BWR	252	1962/1966	300	1024,1	1258,89
KWL — Lingen	BWR*)	252	1964/1968	270	609,8	1929,71**)
KWO — Obrigheim	PWR	300	1965/1968	300	57,24	1989,94

*) cu supraîncălzire nucleară a aburului
**) din care 478,8 GWh datorită supraîncălzirii aburului cu păcură

Tabelul 6

Centrale nuclearoelectrice în construcţie şi în discuţie în R.F. a Germaniei

Denumirea centralei	Tipul	1971	1972	1973	1974	1975	1976–1977
KKN-Niederaichbach	HWGCR *)	100					
KKW-Würgassen	BWR *)	670					
KKS-Stade-1	PWR *)	—	660				
KSH-Geesthacht	HTR *)			25			
Biblis	PWR *)	—	—	—	1 150		
Brunsbüttelkoog	BWR *)				795		
Arge-1-Oberrheim	...				650		
Westfalen-Schmehausen	...				600		
THTR-Veltheim	HTR				300		
Nord-Deutschland					600		
(Stade 2)	PWR						
Salzgitter	...				300**)		
Bayern	...					600	
CWH-VEW/Marl-Hüls	...					600**)	
BASF-Ludwigshaven	...					1200**)	
SNR-Weisweiler	FBR					300	
Baden-Nord	...						600
Total		770	660	25	4395	2700	600

*) în construcţie
**) prevăzute ca centrale de termoficare

Tabelul 7

Necesarul de uraniu în R.F. a Germaniei
(t U_3O_8)

Anul	Cantitatea (t U_3O_8)	Puterea nucleară corespunzătoare, MWe
1970	656	1000
1971	1935	1600
1972	3926	2800
1973	6431	4600
1974	9705	6700
1975	13855	9200
1980	52885	30000

cedeul centrifugării. Proiectul este într-un stadiu avansat şi se aşteaptă începerea lucrărilor.

5. Folosirea energiei nucleare în alte scopuri paşnice

În afară de producerea de energie electrică, în R.F. a Germaniei s-a desfăşurat, în special în ultima vreme, o susţinută activitate în vederea utilizării practice a energiei nucleare şi în alte domenii diferite de producere de energie electrică. Dintre acestea se pot enumera:

5.1. *Gazificarea cărbunelui în subteran.* În Nordheim — Westfalen s-a întocmit un pro-

iect care prevede ca reactorul THTR să fie folosit şi pentru gazificarea cărbunelui în sol. Se întrevede să se creeze în acest mod o sursă de gaze artificiale comercial competitivă cu gazele naturale din Olanda. Pentru realizarea acestui proiect s-au cheltuit pînă în prezent circa 80 mil. DM şi se aşteaptă rezultate concrete.

5.2. *Producere de abur şi termoficare.* Pentru producerea de abur în scopuri industriale în regim de termoficare se caută, în primă instanţă, utilizarea reactoarelor nucleare în forma în care se află astăzi, urmărindu-se adaptarea la noul scop fără nici o modificare.

Pe plan mondial, prima CNE de această natură a fost comandată în S.U.A. firmei „Babcock and Wilcox", pentru o industrie chimică americană.

Similar, în R.F. a Germaniei s-au cerut oferte care sînt în curs de perfectare pentru 3—4 unităţi.

Farbenfabriken Bayer A.G. şi-a anunţat intenţia de a construi o CNE de 600 MWe care să producă şi abur. Termen de punere în funcţiune—anul 1975.

Farbwerke Höechst studiază construcţia unei centrale nucleare de termoficare de 600 MW_e echipată cu un reactor AGR, PWR sau BWR.

BASF a studiat posibilitatea construirii unei centrale nucleare de termoficare în centrul combinatului chimic de la Ludwigshaven pe locul fabricii de carbid — care se desfiinţează — pe malul stîng al Rhinului. Centrala va fi echipată cu două reactoare de cîte 600 MW_e care vor livra şi 2000 t/h abur industrial. Evaluată la circa 400 mil. DM, centrala urmează să intre în funcţiune în 1975. S-au prezentat trei oferte cu trei tipuri de reactoare BWR, PWR şi AGR.

Institutul pentru Securitatea Reactoarelor a studiat, din punctul de vedere al securităţii, ofertele propuse şi le-a avizat pe toate trei, cu unele măsuri suplimentare de siguranţă, datorită faptului că centrala se amplasează într-un centru populat intens.

Problema securităţii centralelor nucleare este privită deosebit de atent, deoarece se preconizează ca, pe malul Rhinului, în această zonă, pe o lungime de 60 km să se instaleze pînă în 1980 o putere nucleară de 10 000 MW_e. Se face precizarea că valea Rhinului în dreptul Mannheim — Ludwigshaven reprezintă una dintre cele mai mari concentraţii de locuitori din Europa.

5.3. *Navigaţia.* În vederea studierii posibilităţilor de utilizare a reactoarelor nucleare pentru navigaţie s-a construit vasul Otto Hahn, cu o putere de 50 000 CP. În urma rezultatelor bune obţinute în timpul drumurilor de probă s-a hotărît construirea a încă două vase similare.

Rezultatele măsurătorilor privind comportarea reactorului la tangaj, mers pe mare, manevrabilitate la diverse viteze sau schimbări de viteze au arătat că vapoarele nucleare vor putea fi construite în viitor mai ieftin şi mai compact.

5.4. *Motoare cu plasmă.* La centrul de cercetări nucleare de la Jülich se fac susţinute cercetări pentru punerea la punct a unor motoare mici, de 20—100 kW, cu plasmă nucleară, destinate zborurilor cosmice. Primul prototip terestru intitulat ITR (Thermoionik Reactor) se va face la KFA Jülich. Începerea construcţiei se prevede pentru anul 1971, cu termen de punere în funcţiune în 1974.

6. Cercetarea ştiinţifică

Realizarea programului nuclear şi diversificarea preocupărilor în utilizarea paşnică a energiei nucleare s-au bazat pe o dezvoltare amplă a activităţii de cercetare în domeniul nuclear.

Cercetarea ştiinţifică pentru dezvoltarea tehnicii nucleare este susţinută atît de industrie cît şi de învăţămîntul superior şi centrele de cercetări ştiinţifice subvenţionate de stat.

Industria şi-a dezvoltat centre de cercetări proprii (AEG — la Grosswelzheim; Siemens la Erlangen etc.), dar participă şi la lucrările de cercetare pe diferite proiecte cu cotă-parte.

Catedrele de învăţămînt superior participă în mod efectiv la cercetarea ştiinţifică, primind comenzi atît de la industrie cît şi de la stat, prin Ministerul Cercetării şi Ştiinţei, în vederea elucidării unor probleme practice.

Dacă se face un rezumat al datelor statistice, se constată că în R.F. a Germaniei în domeniul tehnicii nucleare există şapte centre de cercetări cu un total de 9626 cercetători, cu o investiţie specifică de aproximativ 280 000 DM/cercetător.

Tabelul 8

Dotarea financiară şi cu personal a principalelor centre de cercetări nucleare din R.F. a Germaniei

Denumirea centrului de cercetare ştiinţifică	Dotarea, mil. DM	Personal
Karlsruhe	875	3 185
KFA — Jülich	840	3 220
GKSS — Hamburg	135	414
UMI — Berlin	100	366
DESY — Hamburg	315	874
IPP — Garching — München	135	953
GSF — Neuherberg	85	614

În total, din anul 1956 pînă la sfîrşitul anului 1969, pentru cercetarea ştiinţifică — inclusiv dezvoltarea şi aplicarea în tehnica nucleară — s-au cheltuit circa 7,2 miliarde DM, din care circa 73% au fost alocate de către guvern.

7. Critici și incertitudini

Ritmul deosebit de rapid de instalare de putere nucleară, care a făcut ca la 31 ani de la realizarea primei reacții de fisiune nucleară să fie în lume un număr de aproximativ 84 de centrale nucleare cu caracter comercial în funcțiune, cu o putere de circa 14 000 MW_e, și alte 164, cu o putere de circa 110 000 MW_e, în șantier sau în construcție, arată o dezvoltare neatinsă încă de nici o ramură industrială. În afară de aspectul spectaculos, acest ritm intens demonstrează însă că centralele nucleare au o bază experimentală redusă în dezvoltarea lor.

Această afirmație este susținută de faptul că centralele nucleare din Europa au o experiență limitată la 1—2 ani și se bazează pe experiența centralelor din S.U.A., care ele înseși nu au o experiență mai mare de 10—12 ani (Shippingport, 60 MW_e, pusă în funcțiune în 1958 — 1959).

Din această cauză se fac auzite în ultima vreme critici publice tot mai numeroase la adresa dezvoltării energiei nucleare atît în S.U.A. cît și în R.F. a Germaniei.

Criticile se referă atît la soluțiile tehnice cît și la problemele de securitate, susținîndu-se că datorită ritmului deosebit de intens de instalare de putere nucleară nu s-au putut aprecia rezultatele experimentale, nu s-au putut vedea efectele privind pericolul de infectări radioactive și industria nu a putut face îmbunătățirile tehnice corespunzătoare.

Efectele acestor critici nu se cunosc încă, dar se cunosc o serie de scăderi ale energeticii nucleare, care au avut efecte, în special în ultima vreme, asupra numărului de comenzi de centrale nucleare, după cum s-a arătat mai sus.

Dintre cauzele care au determinat, pe de o parte, criticile împotriva energiei nucleare și nemulțumirea beneficiarilor, iar pe de altă parte reducerea numărului de comenzi din ultimii doi ani, se pot evidenția următoarele aspecte :

a) o creștere puternică a costurilor reale și depășirea în aproape toate cazurile a prețurilor din oferte și a calculelor inițiale (în medie cu circa 30%), lucru care a determinat ca limita economicității energiei nucleare să fie împinsă tot mai departe.

b) Importante întîrzieri de timp la construcția de centrale nucleare datorită, în majoritatea cazurilor, dificultății de rezolvare a unei probleme tehnice*), situație care, pe lîngă scumpirea instalațiilor, a condus la necesitatea construirii de centrale termoelectrice de înlocuire și la dificultăți în sistemele energetice.

c) Existența de opinii contradictorii în ceea ce privește aspectele de securitate a centralelor nucleare, răspîndirea reactivității, posibilitățile de contaminare etc.

d) Greutatea găsirii de locuri de amplasare corespunzătoare pentru marile unități.

e) Informarea publică relativ limitată și lipsa de explicații veridice asupra problemelor tehnice și economice ale centralelor nuclearoelectrice.

f) Necesitatea dezvoltării tehnologiei reactoarelor rapide cu sodiu.

Gradului de incertitudine asupra economicității și fezabilității centralelor nucleare cu reactoare termice în ultima vreme au venit să i se adauge incertitudini asupra reactoarelor rapide reproducătoare.

Părerile specialiștilor în această privință sînt împărțite și contradictorii. Astfel, în timp ce la simpozionul lui „Deutsche Atomforum", de la Berlin din 20—22 aprilie 1970, se aprecia proiectul german al centralei SNR—FBR, de 300 MW, la 470 $/kW (1700 DM/kW) cu un preț de cost al energiei electrice de 1,5 pf/kWh**), în S.U.A., două săptămîni mai tîrziu, se dau publicității trei evaluări**), pentru centrala Essada, de 300—350 MW_e, cu prețuri cuprinse între 850 și 1650 $/kW (3100—6000 DM/kW) și un preț al energiei electrice de aproximativ 4 pf/kWh.

Un răspuns la aceste probleme se va putea da abia în anii următori, cînd instalațiile nucleare gîndite actualmente să funcționeze sigur și economic vor putea infirma sau confirma ipotezele de calcule.

*

Dezvoltarea energeticii nucleare mondiale este caracterizată astăzi prin :

a) terminarea subordonării dezvoltării centralelor nucleare de către dezvoltarea armelor nucleare ;

b) creșterea aspectului comercial al centralelor nucleare ;

c) reducerea aportului subvențiilor din partea guvernelor statelor ;

d) concentrarea puternică a industriilor constructoare de reactoare și centrale nucleare ;

e) începerea consolidării unei piețe de centrale nucleare ;

f) tendințele de mărire a gradului de disponibilitate al centralelor nucleare și scăderea prețului de cost, perfecționarea tehnică a componentelor pentru ieftinirea instalațiilor etc.

Dezvoltarea energeticii nucleare a R.F. a Germaniei se poate defini cu aceleași elemente caracteristice ca și dezvoltarea energeticii mondiale, cu excepția punctului „a", deoarece ea a apărut mult mai tîrziu cînd, se depășise acest nivel.

(Articol intrat în redacție la 12 august 1970)

*) Numai în S.U.A. sînt peste 30 de vase de presiune de reactoare care au întîrzieri de livrare între 4 și 16 luni. Multe comenzi au fost cedate de S.U.A. în Europa și în Japonia.

*) 1,2 pf/kWh amortizări + cheltuieli fixe și 0,3 pf/kWh combustibil.

**) Oferta lui „General Electric" pentru reactorul Essada, de 300—350 MW_e, cu o investiție specifică de 1150—1350 $/$kW_e$; oferta firmei „Westinghouse", care prevede o investiție specifică de 850—1100 $/kW, în timp ce evaluarea unei firme de cercetări cere suplimentări față de aprecierea firme „General Electric" și lucrări de cercetare pentru dezvoltare și punere la punct ce ridică valoarea la 1450—1650$/kW.

CRONICA

Simpozionul CEE—ONU privind utilizarea cercetării operaționale în problemele planificării și funcționării marilor sisteme energetice

Ing. G. Manolescu și ing. Al. Itoafă *)

Între 25 și 27 mai 1970 a avut loc la Varna (Bulgaria) un simpozion internațional axat pe aplicarea metodelor cercetării operaționale pentru rezolvarea problemelor economice ale planificării și exploatării marilor sisteme energetice și utilizarea calculatoarelor în acest scop. Simpozionul a fost organizat de Comitetul pentru Energie Electrică al comisiei Economice ONU pentru Europa.

Această manifestare se încadrează în acțiunea generală inițiată de CEE—ONU de a organiza periodic, sub formă de simpozioane, dezbateri și schimburi de opinii asupra unor probleme energetice de mare actualitate. Astfel, în cadrul aceleiași acțiuni s-a desfășurat și simpozionul de la București din mai 1968, axat pe problemele alimentării marilor consumatori industriali de energie electrică și termică. Această inițiativă deosebit de lăudabilă are ca efect un rodnic schimb de păreri pe probleme majore și de acută actualitate, contribuie la realizarea unor contacte între specialiști energeticieni din diferite țări, la crearea condițiilor pentru o serie de colaborări ulterioare.

Tematica simpozionului desfășurat în acest an la Varna, cercetarea operațională în energetică, răspunde unor necesități de mare actualitate. Într-adevăr, preogresul tehnic recent și exploziv în domeniul construcției calculatoarelor a permis abordarea metodică și la scară reală a unor mari probleme care pînă mai ieri păreau inaccesibile datorită volumului mare de calcule, sau chiar irealizabile cu vechile mijloace clasice de calcul. Printre acestea se numără și calculele de planificare a sistemelor energetice. Literatura tehnică de specialitate marchează în acest domeniu o serie de cercetări care vădesc o înfrigurată dorință de a rezolva aceste probleme de mare importanță pentru economia națională a unei țări, dar metodele de rezolvare diferă între ele, uneori chiar substanțial, în funcție de gradul de dotare cu calculatoare, de anumite condiții particulare, inclusiv factori subiectivi. Iată de ce simpozionul de la Varna a fost primit cu viu interes, reunind peste 130 participanți din 26 de țări și organizații internaționale, care au prezentat peste 50 de rapoarte. Simpozionul s-a organizat pe trei grupe de studiu.

În cele ce urmează se vor prezenta pe scurt principalele probleme care au fost discutate în fiecare grupă.

Grupa A. Aplicarea metodelor de cercetare operațională în planificarea marilor sisteme energetice.

După cum era firesc, cele mai multe rapoarte s-au ocupat de optimizarea structurii sistemului energetic în general [A—23] și a centralelor termo și hidroelectrice în special. Preferința pentru această temă este determinată de costul mare al centralelor electrice, care se construiesc la dimensiuni mereu crescînde, cu durate mari de realizare, ceea ce impune luarea unor decizii și alocarea unor importante fonduri de investiții cu mult timp înainte de valorificarea acestora.

Au fost prezentate modele obișnuite de calcule tehnico-economice ale unor variante bazate fie pe parametrizarea anumitor caracteristici [A—15], fie pe programarea liniară, dîndu-se o serie de noi formulări sau rezolvări ale unor modelări matematice.

Unele rapoarte au prezentat noi metode de rezolvare, bazate pe programarea dinamică [A—7], programe elaborate special pentru aceasta, cum ar fi unele experiențe în domeniul simulării [A—11] prin legarea unor submodele elaborate separat [A—13], sau prin descompunerea unor sisteme complexe în sisteme elementare [A—9], în genul metodei lui G. Krom-Diakoptic.

În vederea reușitei programului de dezvoltare a centralelor electrice, o serie de rapoarte au examinat probleme colaterale, dar importante, cum ar fi metodologia de comparație economică a soluțiilor, prognoza puterii și a energiei care determină programul de centrale, optimizarea puterii de rezervă sau a programului de reparații etc. Astfel, unele rapoarte [A—4], [A—7], [A—8] au arătat necesitatea luării în considerație în calcule a tuturor aspectelor economice, de regulă sub forma unor cheltuieli minime totale anuale, în care să se țină seama de aspectele diferențiate de funcționare și comportare în timp ale diverselor categorii de instalații, în special ale centralelor hidro și termoelectrice. Rapoartele A—2 și A—17 au subliniat necesitatea ca valorile preliminate într-un anumit interval să se bazeze pe statistica din trecut a cît mai multor țări, permițînd astfel și corelarea evoluției viitoare cu diferiți indici ce determină perspectiva, cum ar fi volumul producției, valoarea investițiilor, productivitatea muncii etc.

Alte rapoarte s-au ocupat de optimizarea programului de reparații [A—15] sau a puterii de rezervă, folosind calculatoarele electronice și calcule statistice probabilistice [A—14], [A—16].

În domeniul rețelelor electrice au fost prezentate metode bazate pe programarea dinamică

*) George Manolescu este inginer la ISPE; Alexandru Itoafă este șef de serviciu la CIPEET.

[A—20] sau pe cea liniară [A—23]. Delegaţii maghiari au prezentat rezultatul unor studii privind oportunitatea introducerii într-o anumită zonă a transformării directe 400/120 kV; raportul a avut rolul de a prezenta studiul ca model de analiză, dar concluziile studiului (transformarea iniţială 220/120 kV şi modificarea ulterioară la 400/120 kV), deşi erau strîns legate de anumite particularităţi şi fără pretenţii de generalizare, au fost totuşi combătute, soluţia ieşind din cadrul celor obişnuite.

În general discuţiile au fost orientate asupra gradului de precizie a modelelor matematice şi corelării acestei precizii cu erorile sau abaterile posibile ale datelor de intrare. S-a arătat că în aceste condiţii intuiţia inginerului trebuie să intervină pentru a ajuta la departajarea soluţiilor, iar în analiza finală trebuie să se ia în consideraţie nu o singură soluţie, cea optimă, ci mai multe soluţii, cele mai avantajoase, inginerul ţinînd seama atît de abaterile posibile, cît şi de „distanţa" reală dintre diferitele soluţii şi să o aleagă pe cea mai indicată.

Grupa B. Aplicarea metodelor de cercetare raţională pentru exploatarea marilor sisteme energetice

Majoritatea rapoartelor s-au ocupat de optimizarea regimurilor de funcţionare a sistemelor electroenergetice.

Exigenţele la care trebuie să răspundă sistemele electroenergetice din punctul de vedere al economiei şi al fiabilităţii devin din ce în ce mai riguroase, pe măsură ce procesul de interconexiune progresează, iar problemele de conducere optimală devin mai dificile.

Elaborarea metodelor matematice de optimizare şi punerea în practică a soluţiilor cu ajutorul calculatoarelor electronice au făcut în ultimul deceniu progrese însemnate. Studiul matematic al tuturor problemelor nu este însă terminat, iar calculatoarele nu oferă încă decît posibilităţi limitate.

În etapa actuală de dezvoltare teoretică şi cu echipamentul de calcul electronic disponibil, problema optimizării nu poate fi rezolvată în totalitatea sa, şi de aceea s-a redus la împărţirea în etape în raport cu timpul şi în părţi în raport cu spaţiul. Prin împărţirea în raport cu timpul au apărut trei probleme fundamentale de optimizare a regimurilor sistemelor electroenergetice :

1) optimizarea instantanee ;

2) optimizarea pe termen scurt (zilnic sau săptămînal) ;

3) optimizarea pe termen lung (sezonier, anual sau multianual).

Aceste trei probleme sînt strîns legate între ele atît din punctul de vedere al informaţiilor iniţiale utilizate, cît şi din punctul de vedere al aplicării rezultatelor. Cu toate acestea, în practică ele se tratează într-o mare măsură separat şi nu se corelează una cu alta decît prin rezultatele la limită.

Pentru rezolvarea optimizării instantanee (dispecerul economic) au fost puse la punct mai multe metode adaptate la posibilităţile pe care le oferă materialul de calcul actual.

În cazul general se minimizează totalul cheltuielilor de exploatare a centralelor termoelectrice, centralele hidroelectrice fiind considerate cu puteri fixe obţinute prin optimizarea regimului pe 24 de ore.

Prezintă interes metoda Carpentier-Siroux, utilizată în Franţa, care permite optimizarea simultană a regimului în raport cu puterea activă şi cu puterea reactivă, ţinînd cont de o serie de constrîngeri de tipurile egalitate şi inegalitate, dar aplicarea sa la calcule de conducere operativă necesită calculatoare rapide cu capacitate mare a memoriei centrale.

Metodele puse la punct nu pot fi aplicate în mare parte decît cu simplificări în soluţia exactă a problemei, care este tratată numai ca soluţie de referinţă.

Optimizarea pe termen scurt (pentru 24 ore sau pentru o săptămînă) necesită noi simplificări în raport cu optimizarea instantanee. Se recurge la reducerea numărului de noduri şi la introducerea de caracteristici echivalente pentru fiecare din sistemele reduse. În cadrul acestei probleme trebuie determinată şi structura optimă a echipamentului în funcţiune. Datele de plecare pentru optimizarea regimului zilnic al centralelor hidroelectrice sînt deduse din calculul regimurilor săptămînale, care la rîndul lor rezultă din calculul regimurilor anuale sau multianuale.

Optimizarea pe termen lung prezintă dificultăţile cele mai mari. În cazul cel mai general, această problemă constă în minimizarea cheltuielilor totale de exploatare din perioada considerată, respectînd constrîngerile. Datorită caracterului aleatoriu al datelor (debite, consumuri de apă, consumuri de energie electrică), studiul regimului trebuie să fie abordat din punct de vedere probabilistic. Optimizarea pe termen lung necesită, de asemenea, rezolvarea unor probleme asociate, cum ar fi programul optimal de reparaţii, calculul rezervei turnante optime a sistemului etc.

Problema optimizării instantanee a fost tratată în raportul B—3, în care se dau simplificările aduse modelului matematic exact al metodei Carpentier pentru optimizarea separată a puterilor active şi reactive. Puterea reactivă minimală este introdusă în noduri sub formă de condiţii restrictive, ţinîndu-se seamă totodată şi de asigurarea stabilităţii statice.

Diversele aspecte ale problemei optimizării pe termen scurt sînt tratate în rapoartele B—4 şi B—7. În raportul B—7 se tratează optimizarea

regimurilor din punct de vedere al puterii active prin metoda creşterilor relative, în care pierderile de putere activă sînt reprezentate sub o formă apropiată coeficienţilor B. Programul rezolvă şi problema compoziţiei optime a grupurilor în funcţiune, ţinînd seamă şi de combustibilul consumat cu pornirea şi oprirea grupurilor. În final se verifică respectarea condiţiilor privind consumul de apă pentru fiecare centrală hidraulică.

Un interes deosebit a prezentat raportul B—4, în care este descrisă o metodă nouă de optimizare a regimurilor zilnice ale sistemelor electroenergetice mixte, cu centrale termoelectrice şi hidroelectrice, şi care rezolvă simultan şi problema opririi şi pornirii grupurilor din fiecare centrală. Modelul matematic constă în minimizarea funcţiei cheltuielilor de exploatare totală, ţinînd seama de costul pornirii diferitelor grupuri în funcţie de timpul de oprire. Regimul se optimizează în raport cu puterea activă. Cheltuielile datorate opririi grupurilor sînt exprimate prin funcţii exponenţiale, fiind vorba deci de o problemă cu variabile mixte, directe şi continue. Rezolvarea problemei este obţinută prin aplicarea metodei SEP (separare şi evaluare progresivă).

Optimizarea regimurilor economice pe termen lung este tratată în rapoartele B—5, B—6, B—8.

Raportul B—5 se referă la posibilităţile aplicării programării dinamicii la optimizarea unui lanţ de centrale hidraulice. Criteriul de optimizare este acoperirea cererilor de putere şi energie în timpul unei perioade determinante. Recurgerea la programarea dinamică în cazul problemelor de acest gen a arătat că calculatoarele de categorie medie nu sînt suficiente decît pentru sisteme relativ mici, cu un număr limitat de acumulări. În caz contrar se utilizează alte metode, cum ar fi metoda gradientului, cuprinsă în raportul B—6, în care se tratează optmizarea pe termen lung a regimurilor unui lanţ de centrale hidroelectrice prin metoda gradientului, ţinîndu-se seama de caracterul aleatoriu al debitelor. Raportul cuprinde următoarele capitole mari:

— tratarea statistică a datelor iniţiale şi construcţia programelor auxiliare după metoda Monte Carlo;

— optimizarea regimurilor pe baza metodei gradientului;

— tratarea şi aplicarea rezultatelor obţinute prin calculul de optimizare.

Conducerea optimală a centralelor hidroelectrice cu acumulare multianuală care fac parte dintr-un sistem electric mixt în dezvoltare este tratată în raportul B—8, în care se ţine seamă de analiza sistemului electric, considerat ca un sistem dinamic, cu optimizarea multianuală a regimului acumulărilor. Algoritmele şi programele descrise au fost utilizate timp de mai mulţi ani în exploatarea lanţului de centrale Angara—Enisei, care fac parte din sistemul electric al Siberiei.

Problema influenţei combinate pe care defecţiunile echipamentului de bază din centrale şi scăderea puterii centralelor hidroelectrice, ca urmare a unei slabe hidraulicităţi, o exercită asupra regularităţii în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, este tratată în raportul B—11, în care se propune şi o metodă pentru determinarea rezervei optime de putere.

Stabilirea rezervei optime de putere într-un sistem electric este tratată şi în raportul B—10. Rezerva de putere optimă este obţinută din condiţia minimului de cheltuieli pe economia naţională (minimul de cheltuieli în sistem şi al pagubelor cauzate economiei prin întreruperea alimentării consumatorilor).

Problemele privind compararea variantelor de dezvoltare a sistemelor electrice din punctul de vedere al siguranţei pe care o oferă, determinarea indicilor de indisponibilitate a agregatelor energetice şi calculul fiabilităţii sistemului electric sînt tratate în rapoartele B—24, B—15 şi B—14.

Determinarea consumului pe o perioadă îndelungată a unui sistem electric formează obiectul raportului B—9.

Merită a fi menţionat de asemenea raportul B—13, care se referă la alegerea numărului optim de mărimi telemăsurate, necesare pentru supravegherea şi conducerea directă a unui sistem electric cu ajutorul unui calculator exploatat în timp real.

Grupa C. Utilizarea calculatoarelor pentru conducerea şi exploatarea marilor sisteme energetice

Majoritatea rapoartelor (şase) din această grupă s-au ocupat de utilizarea calculatoarelor pentru conducerea prin dispecer a marilor sisteme electroenergetice interconectate; două rapoarte s-au referit la utilizarea calculatoarelor în staţiile şi în centrele de conducere a reţelelor de distribuţie, iar alte două la utilizarea calculatoarelor pentru rezolvarea diverselor probleme privind reglajul şi comanda propriu-zisă a instalaţiilor energetice şi a amenajărilor hidroenergetice.

De o atenţie deosebită s-a bucurat raportul C—7, în care sînt descrise echipamentele de calcul utilizate pentru conducerea prin dispecer a sistemului electroenergetic unificat din Marea Britanie (CEGB). Autorii au prezentat în cadrul simpozionului un film de scurt metraj, care a reliefat modul de folosire a echipamentului de calcul şi a instalaţiilor de vizualizare din dotarea CEGB.

De asemenea, a reţinut atenţia şi raportul C—6, care descrie utilizarea tehnicii de calcul electronic la „Electricité de France". Este descrisă dotarea cu mijloace de transmitere, în-

registrare și prelucrare a informațiilor la diferitele nivele ale comenzii prin dispecer. Sînt indicate de asemenea principalele probleme pe termen lung și pe termen scurt, care sînt rezolvate la dispecerul central și la dispecerii regionali.

Raportul C—12 descrie structura și componența echipamentului matematic al sistemului automat de conducere prin dispecer într-un sistem electric unificat. Acest echipament cuprinde ansamblul de algoritme care răspunde funcțiilor esențiale ale comenzii prin dispecer.

Rapoartele C—5 și C—3 se ocupă de utilizarea calculatoarelor la reglajul automat frecvență-putere și la repartizarea optimă a sarcinii în sistemele electroenergetice.

De utilizarea calculatoarelor în stațiile și în centrele de conducere a rețelelor de distribuție s-au ocupat rapoartele C—2 și C—4. Raportul C—2 descrie utilizarea calculatoarelor în sistemul electric al societății Badauwerk. Sînt scoase în evidență avantajele utilizării calculatoarelor mici în stațiile și în centrele de conducere a rețelelor, formînd un ansamblu ierarhizat cu calculatorul de dispecer.

Raportul C—4 descrie utilizarea sistemului de prelucrare a informațiilor și de conducere care a fost instalat la noul centru de dispecer al rețelei orașului Hamburg, echipat cu un calculator Siemens—305.

De utlilizarea calculatoarelor pentru rezolvarea diverselor probleme privind reglajul și comanda propriu-zisă a amenajărilor hidroenergetice s-au ocupat rapoartele C—3 și C—8. Din aceste rapoarte rezultă cît de complexe și particulare sînt problemele pe care le pune exploatarea amenajărilor hidroenergetice și cît de eficace este utilizarea calculatoarelor în acest scop.

Raportul C—3 tratează amenajarea hidroenergetică cu scopuri multiple de la Porțile de Fier și conducerea prin calculator a regimurilor de exploatare, ținînd seama de interesele țărilor riverane precum și de condițiile impuse de navigație.

Raportul C—8 descrie modul de exploatare economică a uzinelor de pompaj de la Grande Discence cu ajutorul unui singur centru de calcul. Programele stabilite și utilizate în acest caz arată cum poate fi tratată într-un mod empiric o problemă complicată și particulară.

Lista rapoartelor prezentate la simpozionul C.E.E. — O.N.U.

A.1. G. Blizkov (Bulgaria) : *Raport general al grupei A.*

A.2. I. Futo, S. Lenavd și E. Varga (Ungaria) : Analize probabilistice ale cererii de energie electrică pe termen lung.

A.3. M. Petcu (România) : Reprezentarea schematică a funcționării centralelor termoelectrice în modelele de programare liniară în scopul optimizării dezvoltării centralelor sistemului energetic.

A.4. I. Klenia și A. Jireskova (Cehoslovacia) : Criteriul eficienței economice la selectarea structurii dezvoltării unui sistem energetic.

A.5. L. Hilberg (Ungaria) : Operatorul „Exor" și utilizarea sa practică.

A.6. M. P. Caille (Franța) : Definirea și calculul tarifului la cost marginal într-un viitor incert.

A.7. R. Hansen (Danemarca) : Model de dezvoltare optimizată a producerii de energie electrică cu ajutorul unei metode cu trepte discrete.

A.8. S. Saumon (Franța) : Utilizarea unui model de investiții și analiza unor soluții tehnice alternative.

A.9. I. Nemeti (Ungaria) : Diviziunea ierarhică a unui mare sistem și aplicarea sa la studiul sistemului energetic.

A.10. G. Daniel (Ungaria) : Unele aspecte ale optimizării sistemului electroenergetic.

A.11. R. Freiberger (Cehoslovacia) : Simularea unui sistem energetic complex pe termen lung. Probleme de bază și unele experiențe.

A.12. J. Benko, Z. Hadik, K. Szendy și T. Terzt-Janoszky (Ungaria) : Studiu comparativ privind dezvoltarea rețelelor de 400 kV și 220 kV într-un sistem dat.

A.13. G. Beckman (R.D.G.) : Dezvoltarea și construcția unui sistem complex de modele pentru planificarea producerii de energie electrică într-un sistem energetic pe termen lung, mediu sau scurt.

A.14. G. Blizkov (Bulgaria) : Determinarea optimului de rezervă de avarie cu ajutorul calculatorului electronic.

A.15. R. Janiczek (Polonia) : Optimizarea unui program de revizii anuale pentru unitățile generatoare într-un sistem energetic național.

A.16. Z. Kozik (Polonia) : Determinarea rezervei de capacitate într-un sistem energetic.

A.17. J. Filipovicz și J. Semianowski (Polonia) : Metode de sinteză statistică pentru prevederea cererii de energie.

A.18. H. K. Zielinski (Polonia) : Metodă pentru repartiția directă a producției anuale în centralele termoelectrice.

A.19. R. Frydrychowski (Polonia) : Metodă pentru selecția preliminară a amplasării și compoziției agregatelor pentru planificarea structurii unui sistem energetic.

A.20. A. Rothman (România) : Programarea dinamică directă aplicată la planificarea unei rețele electrice de distribuție.

A.21. C. Grossi, R. Manni și E. Marciani (Italia) : Prevedere probabilistică a cererii de energie electrică și determinarea siguranței unui sistem energetic independent sau interconectat prin procesele markoviene.

A.22. W. W. Bojarski (Polonia) : Criteriu pentru evaluarea economică a programului de dezvoltare a unui sistem energetic ținînd seama de interconexiuni internaționale și siguranța în alimentare.

A.23. V. Nitu, L. Groza, G. Manolescu, N. Bordeianu, C. Goldenberg și A. Sevastru (România) : Organizarea studiilor în planificarea sistemului energetic român.

A.25. G. Turkoglu (Turcia) : Un nou studiu despre previziunea consumului de energie în Turcia.

A.26. O. Yayalar (Turcia) : Un model de planificare a investițiilor, dezvoltat pentru sistemul interconectat turc.

B.1. L. Petkov (Bulgaria) : *Raport general al grupei B.*

B.2. A. Stönner (R.F. a Germaniei) : Determinarea deprecierii materialului atelierelor de preparare a cărbunelui datorită uzurii.

B.3. B. Bokay și L. Racz (Ungaria) : Calculul puterii reactive minime pentru optimizarea conducerii sistemelor energetice.

B.4. A. Merilu și P. Martin (Franța) : Metodă de repartiție zilnică într-un ansamblu de mijloace de producere termice și hidraulice.

B.5. I. Pablo și Q. Portl (Cehoslovacia) : Aplicarea programării dinamice la optimizarea concepției și regimului de exploatare a centralelor hidroelectrice.

B.6. M. Anghelov, K. Lazarev, L. Petkov, B. Bakhnev, M. Ghenurova şi M. Doukovo (Bulgaria) : Determinarea şi planificarea pe calculator a regimului optim pe termen lung la o cascadă de centrale hidroelectrice ţinînd seama de caracterul probabilistic al debitului.

B.7. L. Petkov, M. Dimova şi B. Bakhnev (Bulgaria) : Optimizarea după puterea activă a regimurilor zilnice a sistemului electric din Bulgaria.

B.8. A. L. Velikanov şi A. Ş. Reznikovski (U.R.S.S.) : Conducerea optimă a regimurilor de funcţionare a centralelor hidroelectrice cu acumulare multianuală, din sistemele electrice complexe, în dezvoltare.

B.9. G. N. Lialik şi B. K. Poukratov (U.R.S.S.) : Determinarea regimurilor de consum ale sistemelor electrice.

B.10. I. M. Markovici, J. A. Volkov şi L. A. Trusova (U.R.S.S.) : Determinarea rezervei optime de putere într-un sistem electric.

B.11. G. N. Lialik, G. A. Volkov şi L. A. Trusova (U.R.S.S.) : Determinarea rezervei optime de putere într-un sistem electric mixt ţinînd seama de caracteristicile probabilistice relative ale producţiei centralelor hidroelectrice.

B.12. J. M. Markovici şi I. J. Khainsov (U.R.S.S.) : Optimizarea dezvoltării sistemelor electrice.

B.13. E. Ariatti (Italia) : Alegerea mărimilor telemăsurate pentru supravegherea şi conducerea directă a unei reţele electrice cu ajutorul unui calculator exploatat în timp real.

B.14. M. Brădescu (România) : Metodologie pentru calculul fiabilităţii într-un sistem energetic.

B.15. G. Pipa, G. Oprişan, A. M. Petrescu şi N. Chirculescu (România) : Cîteva contribuţii cu privire la elaborarea unei metode de calcul al indicilor de indisponibilitate ai agregatelor energetice.

B.16. V. Mastilovici şi R. Petrovici (Iugoslavia) :

B.24. G. Pipa, G. Oprişan, D. Drăguşin, A. M. Petrescu M. Staadecker, S. Ionescu şi N. Chirculescu (România) : Cîteva contribuţii la elaborarea unei metode unitare cu privire la optimizarea sistemelor electroenegetice.

C.1. I. S. Borisov (U.R.S.S.) : *Raportul general al grupei C.*

C.2. M. Erich (R.F. a Germaniei) : Controlul cu ajutorul calculatoarelor numerice în reţeaua „Badenwerk A. G."

C.3. J. Vucetic (Iugoslavia) : Gestiunea în exploatarea sistemului hidroenergetic şi de navigaţie de la Porţile de Fier.

C.4. K. Zolkukopf (R.F. a Germaniei) : Comanda prin calculator, „on line" în noul centru de repartiţie a sarcinii din Hamburg.

C.5. G. Becker şi G. Schellstede (R.F. a Germaniei) : Utilizarea calculatorului numeric pentru reglajul frecvenţă-putere şi repartiţia economică a sarcinii într-un sistem interconectat de mare întindere.

C.6. J. C. Gibory şi V. Saminadeu (Franţa) : Dispecerii automatizaţi de la „Electricité de France".

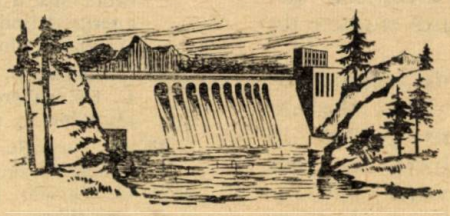
C.7. J. Banks şi J. Dillow (Anglia) : Folosirea studiilor previzionale prin calculator şi a unui sistem electronic de informare în direct pentru exploatarea reţelei electrice interconectate britanice.

C.8. P. Meystre (Elveţia) : Cercetarea operaţională aplicată la exploatarea uzinelor de pompaj Grande Dixence ; utilizarea unui calculator de proces.

C.9. L. Daklev (Bulgaria) : Anumite posibilităţi de repartiţie în gestiunea curentă a puterii active şi reactive, cu ajutorul calculatoarelor de comandă.

C.10. T. Prybylski (Polonia) : Aplicarea principiului descompunerii la determinarea repartiţiei economice a sarcinii cu ajutorul calculatoarelor.

C.12. B. S. Şakanov, G. A. Klimenko, M. A. Boiarcenko, P. I. Dubnov şi B. N. Kurov (U.R.S.S.) : Structura echipamentului matematic al sistemului ierarhizat al calculatoarelor din a treia generaţie pentru conducerea prin dispecer a unui sistem electric interconectat.



Lucrările celei de-a 23-a sesiuni a Conferinței Internaționale a Marilor Rețele Electrice

Între 24 august și 2 septembrie 1970 a avut loc la Paris cea de-a 23-a sesiune a Conferinței Internaționale a Marilor Rețele Electrice (CIGRE). La această sesiune au participat aproape 2400 delegați din 50 de țări, lucrările avînd loc în clădirea UNESCO. În același timp au avut loc reuniuni ale comitetelor de studii, precum și vizite tehnice la o serie de obiective energetice ce prezentau un interes deosebit. Din partea țării noastre au participat 12 delegați, între care delegați oficiali, membri ai comitetelor de studii etc.

Ședința de deschidere a fost prezidată de secretarul general al Ministerului Dezvoltării Industriale și Științifice. Președintele CIGRE, A. R. Cooper, a făcut o scurtă trecere în revistă a obiectivelor principale ale CIGRE, anunțînd totodată că, începînd de la 1 oct. 1970, locul lui F. Cahen, delegat general al Consiliului de administrație, va fi luat de R. Pélissier, avînd funcția de secretar general al CIGRE. În continuarea ședinței de deschidere, Ch. Chévrier, director general adjunct al societății „Electricité de France", a prezentat o interesantă conferință intitulată „Electricitatea în Franța, ieri, astăzi și mîine".

În timpul sesiunii a avut loc, de asemenea, o reuniune a unei grupe comune de studii CIGRE—CEI, „Calculul puterelor de scurtcircuit", prezidată de acad. prof. Remus Răduleț.

Adunarea generală a avut loc în ziua de 2 sept. 1970. A fost aprobată darea de seamă a Consiliului de administrație, prezentată de A. R. Cooper. În continuare au avut loc ședința de închidere și ședința Consiliului de administrație, la care a participat și delegatul român (Groza).

Țara noastră, în conformitate cu statutul CIGRE, este reprezentată în Consiliul de administrație al CIGRE pentru o perioadă de patru ani, pînă în 1974.

Activitatea principală a sesiunii a fost discutarea celor 128 de rapoarte (a căror listă se prezintă într-unul din numerele viitoare ale revistei „Energetica"), împărțite pe 14 grupe. În plus, cele 14 rapoarte speciale ale grupelor au avut ca scop sintetizarea și organizarea discuțiilor în așa fel încît să se poată desprinde cele mai noi tendințe în domeniile respective. Rapoartele au respectat în general subiectele preferențiale, stabilite inițial. Lucrările au avut loc simultan în două săli, rezervîndu-se în principiu cîte o zi pentru fiecare grupă (cu excepția grupelor 15 și 36, care au ocupat o jumătate de zi).

Țara noastră a prezentat două rapoarte propuse de Comitetul național, și anume :

— „Detectarea degradărilor produse de descărcările parțiale pentru tipurile de izolație hîrtie impregnată" — de D. Moraru, C. Popescu, M. Stoica și F. Tănăsescu (raportul nr. 15—05) ;

— „Ameliorarea securității în exploatarea rețelelor cu ajutorul consolelor de vizualizare" — de P. Dimo, L. Groza, G. Moraite și H. Cristea (raportul nr. 32—13).

În cele ce urmează se vor reda pe scurt principalele aspecte desprinse din discuțiile purtate în cele 14 grupe de lucru, în care se face o scurtă prezentare a problemelor, a intervențiilor delegaților români, cît și a cîtorva concluzii rezultate.

Grupa 11 — **Alternatoare.** Președinte : *I. A. Glebov* (U.R.S.S.). Raportor special : *G. Ruelle* (Franța). Au fost prezentate 11 rapoarte în probleme privind : încălzirea părților active și constructive ale marilor mașini sincrone, probleme mecanice ale turboalternatoarelor mari, precum și probleme ale sistemelor de excitație.

S-a reținut, în privința problemelor de încălzire, în special în regim de funcționare capacitivă, că o proiectare și o supraveghere adecvate în exploatare pot conduce la o folosire optimală a lor. S-a arătat că procedee de supraveghere de genul celor prezentate în raportul românesc 32—13, în cadrul grupei 32, corespund acestui scop (intervenția delegatului român Groza).

De asemenea, în privința performanțelor sistemelor de excitație, s-au adus precizări în legătură cu interesul utilizării semnalelor de reglaj și de stabilizare (intervenția delegatului Apetrei).

S-a proiectat un film, prezentat de ENEL, privind amenajarea stației de pompaj Lago Maggiore, avînd o putere instalată de 1200 MW.

Grupa 12 — **Transformatoare.** Președinte : *H. Lutz* (Elveția). Raportor special ; *B. Sollergren* (Suedia). S-au prezentat 12 rapoarte, axate pe probleme privind reactanțele-șunt, întreținerea și îmbătrînirea, coordonarea izolației interne a transformatoarelor.

O intervenție românească (Drăgan) a adus o contribuție în privința influenței descărcărilor parțiale.

S-au adus o serie de alte contribuții privind clasificarea necesităților rețelelor electrice în ce privește reactanțele-șunt, concepții noi constructive ale acestora, aprecieri asupra duratelor de îmbătrînire, a influenței umidității asupra ei, a gazelor dizolvate în ulei etc., a comportării izolației la tensiunea de șoc și la supratensiuni de manevră, făcîndu-se numeroase propuneri de modificare a regulilor actuale privind condițiile tehnice, încercarea și întreținerea.

Grupa 13 — **Întrerupătoare.** Președinte : *H. Meyer* (Elveția). Raportor special : P. Baltensperger (Elveția). Au fost prezentate 15 rapoarte, ordonate după subiectele preferențiale următoare :

— Probleme privind tensiuni tranzitorii în timpul unei operații de închidere și deschidere.

— Fenomene privind trecerea prin zero a curentului și legătura lor cu încercările sintetice.

— Probleme relativ la tăierea curentului în sisteme de curent continuu de înaltă tensiune.

S-au remarcat cîteva performanțe excepționale ale întrerupătoarelor în ceea ce privește timpii de tăiere, comportarea la supratensiuni etc.

Grupa 14 — **Materiale de conversiune alternativ-continuu.** Președinte : *K. S. Smedsfelt (Suedia)*. Raportor special : *L. Csuros (Marea Britanie)*. *Au fost prezentate cinci rapoarte*, pe următoarele subiecte preferențiale :

— Experiența de exploatare privind materialele existente.

— Concepția construcției și încercării valvelor convertizoarelor pentru instalații de curent continuu la înalte tensiuni.

— Reglajul și funcționarea materialului de conversiune pentru înalte tensiuni în rețelele cu două sau mai multe puncte terminale.

— Influența caracteristicilor rețelei asupra concepțiilor stațiilor terminale în curent continuu.

S-a analizat experiența de exploatare cîștigată în anii 1968—1969 și s-a prezentat o serie de echipamente cu performanțe superioare.

Grupa 15 — **Materiale izolante.** Președinte : *T. Leardini* (Italia). Raportor special : *B. Fallou* (Franța). Au fost prezentate șapte rapoarte, printre care un raport românesc pe următoarele subiecte preferențiale :

— Probleme privind detectarea degradărilor de origine termică sau electrică pentru diverse tipuri de izolații ale materialelor pentru rețele de înaltă tensiune. Posibilități oferite de cromatografie în fază gazoasă.

— Progrese realizate în construcția condensatoarelor, avantaje ale sistemelor mixte hîrtie-plastic, față de sistemele clasice, utilizarea lichidelor de impregnare avînd aditivi.

— Încercări și rezultate de exploatare ale materialelor izolante realizate în epoxid sau alte materiale plastice pentru

instalațiile exterioare. Probleme în legătură cu căile de străpungere și cu eroziunea.

Atît în raportul special, cît și în comentariile făcute în ședință, s-au scos în evidență problemele ridicate și modelele folosite în raportul românesc 15—05, în special în privința mărimilor susceptibile să caracterizeze nocivitatea descărcărilor parțiale, precum și modul în care sînt utilizate rezultatele unei asemenea caracterizări.

O intervenție românească (Drăgan) a răspuns unei serii de probleme ridicate și a arătat unele rezultate obținute în țară în domeniul degradării izolațiilor.

În concluzie, s-a menționat că sînt indici care arată că se poate face o diagnosticare satisfăcătoare a defectelor, că s-au făcut progrese în izolarea condensatoarelor și că, relativ la rășinile sintetice, există materiale care pot da satisfacții la tensiuni medii.

Grupa 21 — **Cabluri de înaltă tensiune.** Președinte : *R. F. Goossens* (Olanda). Raportor special : *A. S. Brooks* (S.U.A.). Au fost prezentate șapte rapoarte privind : cablurile de curent continuu, cablurile cu izolație sintetică și accesorii, problemele legate de transportul de puteri mari la înaltă și foarte înaltă tensiune. S-au pus în evidență mai multe studii și proiecte comerciale și mai puțin probleme de laborator sau de analize teoretice. S-au arătat posibilitățile în ce privește creșterea tensiunii și a secțiunii cablurilor folosind tehnicile clasice, menționîndu-se și cîteva tehnici noi, ca, de exemplu, cabluri cu izolant gazos — SF_6 — etc.

Grupa 22 — **Linii aeriene.** Președinte : *A. B. Wood* (Marea Britanie). Raportor special : *H. B. White* (Canada). Au fost prezentate 11 rapoarte, axate pe următoarele subiecte preferențiale : conductoare și accesorii, reacția conductoarelor la vînt, importanța constructivă a izolatoarelor, proiectarea și montarea stîlpilor, mărirea capacității de transport a liniilor.

A avut loc și o intervenție românească, în care s-a arătat experiența cîștigată în România în legătură cu fenomenul de galopare și cu soluțiile adoptate pentru prevenirea apariției acestui fenomen (Groza).

S-au prezentat o serie de soluții noi de linii aeriene, de exemplu stîlpi cu console izolante, necesitatea organizării culegerii de date pentru condiții meteorologice pe scară națională și internațională.

S-au prezentat, de asemenea, tipuri noi de izolatoare și de materiale utilizate în construcția stîlpilor.

A suscitat un viu interes problema limitei termice de încărcare a liniilor, arătîndu-se unele procedee, ca, de exemplu, introducerea de modele prin care se poate obține o supraîncărcare pînă la circa 50 % a liniilor în cazuri de avarie în sisteme etc.

Au fost comentate favorabil rezultatele obținute la recenta reuniune a grupei de lucru „Coeficienți de siguranță", care a avut loc la București, în luna mai a.c.

Grupa 23 — **Stații.** Președinte : *B. Stauch* (R. F. a Germaniei). Raportor special : *M. Baumann* (R. F. a Germaniei). Din cele șase rapoarte prezentate și din discuții au rezultat următoarele realizări mai deosebite :

— Stații blindate de înaltă tensiune avînd alți izolanți decît aerul la presiunea atmosferică, rezultînd astfel că, în afara lui SF_6, sînt și alți izolanți.

— Influența eforturilor (supratensiuni și supracurenți) asupra concepției tehnice și economice a stațiilor, aducîndu-se precizări în legătură cu structura stațiilor, cu întreținerea și siguranța personalului.

— Cutremurele de pămînt și influența lor asupra concepției tehnice a stațiilor de înaltă tensiune, la care s-au prezentat punctele de vedere ale utilizatorilor și ale constructorilor. Discuția a arătat avantajele pe care le pot avea, în aceste cazuri, întrerupătoarele suspendate.

— Stații simplificate, rezultînd economii importante din adaptarea schemelor simplificate, fiind necesară însă acordarea unei atenții speciale protecției și conexiunilor.

Grupa 31 — **Rețele de transport.** Președinte: *H. C. Barnes* (Marea Britanie). Raportor special : *V. Caleca* (S.U.A.) S-au prezentat nouă rapoarte, grupate pe următoarele subiecte :

— Experiența de exploatare sau studii de verificare privind rețelele de tensiune foarte înaltă.

— Cercetări sau studii ale caracteristicilor rețelelor definind parametrii teoretici pentru tensiunea ultraînaltă și foarte înaltă.

— Cercetări de laborator și studii experimentale privind alegerea nivelelor de tensiune ultraînaltă și a parametrilor posibili pentru curentul alternativ și de înaltă tensiune pentru curentul continuu.

S-a constatat că tensiunile de 735—765 kV intră în posibilitățile tehnice actuale. Ca tensiune-limită ce ar putea fi greu depășită s-a indicat tensiunea de circa 1500 kV.

De asemenea, s-a constatat că pentru rețele de 500 și 700 kV date în exploatare s-a cîștigat o experiență pozitivă în privința reușitei reanclanșărilor, nereușita lor nedepășind 10—15 %.

S-au adus mai multe precizări privind numeroșii factori care influențează determinarea limitei superioare a nivelului de tensiune.

Grupa 32 — **Planificarea și exploatarea sistemelor electroenergetice.** Președinte : *M. Magnien* (Franța). Raportor special : *B. Favez* (Franța). S-au prezentat 17 rapoarte, axate pe următoarele trei subiecte preferențiale : optimizarea planificării pe termen lung, controlul în exploatarea sistemelor electroenergetice, îmbunătățirea stabilității. În această grupă a fost prezentat și raportul românesc 32—13, care a dat naștere la comentarii favorabile.

Au avut loc două intervenții românești (Dimo și Groza) în probleme ale funcțiunilor esențiale ale sistemului de control în exploatarea și în organizarea sistemelor de control.

În această grupă s-au adus contribuții importante legate de introducerea calculatoarelor în sistemele energetice și de organizarea supravegherii sistemelor, atît în regim normal cît și în regim de avarii.

Grupa 33 — **Supratensiuni și coordonarea izolației.** Președinte : *V. Palva* (Finlanda). Raportor special : *G. Carrara* (Italia). Subiectele discutate au fost : supratensiunile exterioare și interioare ; rezistența dielectrică a izolației ; influența poluării ; proprietățile și utilizarea paratonerelor și a eclatoarelor ; calculul și coordonarea izolației.

S-a constatat, printre altele, că au apărut elemente noi asupra numărului trăsnetelor multiple, cu ajutorul măsurătorilor cu oscilografe din stația de cercetări San Salvadore.

S-a prezentat un proiect în care se diferențiază lovitura directă de trăsnet în conductoare și conturnarea inversă, care se compară cu valorile calculate pe baza unui model electrogeometric (proiectul Pathfinder — S.U.A.), precum și metode noi de calcul utilizate în U.R.S.S. S-au prezentat date noi în legătură cu solicitările impuse de supratensiunile de comutație pentru intervale mari de aer. S-au stabilit două metode în tehnica măsurării rigidității dielectrice (echivalarea front-tip și linia minimă de conturnare), rezultînd că nu sînt contradictorii.

Referitor la poluare, s-au adus precizări privind instalațiile de încercare, metode de cercetare și rezultate. S-a discutat „numărul de performanță" al poluării (P), destinat să caracterizeze, din acest punct de vedere, izolatoarele de diverse tipuri etc.

În ceea ce privește proiectarea izolanților și coordonarea acestora, s-au prezentat rezultatele noi obținute în S.U.A. arătîndu-se eficiența lor.

Grupa 34 — **Protecție, automatizare și echipamente de telecomandă.** Președinte : *Braten* (Norvegia). Raportor special : *Dienne* (Belgia). Au fost prezentate șapte rapoarte în care s-au ordonat problemele în ordinea subiectelor preferențiale, și anume :

— Dispozitive utilizate pentru conducerea sistemelor electroenergetice sub aspectul rentabilității și al siguranței.

— Principii și realizări de sisteme automate de protecție a rețelelor împotriva consecințelor defectelor persistente și ale condițiilor anormale de suprasarcină.

— Principii și realizări de automatizare locală în centrale și stații pentru exploatarea normală și pentru condiții anormale datorate incidentelor.

Raportorul special a arătat legătura unei părți din tematică cu unele rapoarte prezentate în grupa 32, menționînd în această direcție și raportul românesc nr. 32—13.

A rezultat, de asemenea, că tehnicile moderne de calcul și de măsură, datorită în special introducerii pe scară largă

a calculatoarelor, constituie subiectul predominant şi în această grupă.

Au avut loc trei intervenţii româneşti, în care s-a arătat că, în conducerea centralelor şi reţelelor electrice, dialogul „om-maşină" şi introducerea dispozitivelor de vizualizare trebuie recomandate în primul rînd specialiştilor în automatica reţelelor (Dimo). S-a adus în plus o contribuţie la determinarea parametrilor convenţionali pentru precizarea gravităţii unei situaţii anormale de exploatare, prin măsurarea directă a acestora în sistem (Groza). Ambele intervenţii s-au referit la probleme tratate în raportul 32—13.

În problema formelor analogice, cifrice sau logice, în care trebuie elaboraţi parametrii de informaţii necesari supravegherii şi conducerii automate a sistemelor electroenergetice, s-a purtat o discuţie deosebit de interesantă, animată de o intervenţie românească (Penescu).

Se reţine o serie de realizări obţinute în special în domeniul automaticii de sistem şi al introducerii calculatoarelor în protecţie pentru luarea de decizii în situaţii de defect sau de avarii.

Grupa 35 — **Teletransmisii.** Preşedinte : *P. Borremans* (Belgia). Raportor special : *M. Holleville* (Franţa). Au fost prezentate patru rapoarte, pe baza următoarelor subiecte preferenţiale :

— Calcule şi măsurători privind propagarea frecvenţelor purtătoare pe liniile de energie.

— Procedee de codificare în transmisiile de date şi semnale, cu considerarea zgomotelor de natură electrică.

— Transmisii prin radio de date şi semnale de teleprotecţie specifice reţelelor energetice.

S-a constatat o apropiere între rezultatele obţinute în U.R.S.S. şi S.U.A. asupra propagării pe 750 kV şi, respectiv 500 kV. Deşi în primul caz se folosesc firele de gardă izolate, în cel de-al doilea caz nu se recomandă folosirea acestora pentru transmisia semnalelor de teleprotecţie.

S-a prezentat o clasificare a informaţiilor în funcţie de importanţa lor pentru sistemul electroenergetic. De asemenea, s-au prezentat date asupra tipurilor de zgomote la transmisiile pe linii electrice aeriene şi s-a analizat modul de protecţie a semnalelor transmise (codificare, modulare, filtrare). S-a recomandat prudenţă în utilizarea circuitelor PTT pentru semnale de teleprotecţie, deoarece zgomotele specifice (muzică, discuţii) nu pot fi suficient atenuate prin filtre adaptive.

S-a prezentat o reţea de transmisii prin fascicule hertziene, utilizată în reţeaua de 735 kV din Canada. Se menţionează că în prezent această realizare poate fi considerată ca unică în lume şi că performanţele ridicate realizate sînt peste limitele necesare.

În concluzie a rezultat că pentru transmiterea datelor şi a informaţiilor s-au dezvoltat tehnici multiple faţă de exigenţele crescînde. Se impune ca necesară formarea unei „filozofii" clare în concepţia conducerii sistemelor electroenergetice, cu atît mai mult cu cît teletransmisiile vor avea un rol preponderent în reţelele electrice viitoare.

Grupa 36 — Perturbaţii. Preşedinte : *M. Paimboeuf* (Franţa). Raportor special : *A. de Quervain* (Elveţia). S-au prezentat cinci rapoarte în legătură cu următoarele subiecte preferenţiale :

— Ridicarea potenţialului solului în vecinătatea instalaţiilor energetice. Repercusiuni asupra circuitelor de telecomunicaţii care intră în aceste instalaţii sau trec prin apropiere.

— Inducţia magnetică asupra canalizărilor subterane de tipul „pipe-line". Rezultate şi măsurători.

— Repartiţia statistică a nivelurilor perturbaţiilo rradiofonice produse de liniile de energie în curent alternativ la tensiuni foarte înalte.

Rapoartele prezentate au intrat în prima categorie menţionată. Se remarcă tendinţa în aceste rapoarte de a se reduce ecarturile între valorile tensiunilor măsurate şi ale celor calculate după directivele CCITT, atît pentru tensiunile reziduale cît şi pentru cele induse.

S-a arătat că în majoritatea cazurilor există dispozitive de protecţie eficace şi că, în afara celor clasice (paratonere, transformatoare, neutralizatoare, ecrane etc.), este necesar să se prevadă dispozitive speciale pentru protecţia aparatelor care utilizează semiconductoare. A rezultat că, în ceea ce priveşte corelarea valorilor măsurate cu cele calculate, problema rămîne destul de complexă, nefiind încă complet stăpînită.

În concluzie s-a constatat că, deşi există un număr de probleme de rezolvat, totuşi diferitele procedee existente, care se perfecţionează, vor permite, cu toată dezvoltarea rapidă a reţelelor electrice şi a celor de telecomunicaţii, ca acestea să coexiste fără prea multe dificultăţi.

O parte din delegaţii români au participat atît ca membri cît şi ca experţi la unele comitete de studii, după cum urmează : *C. Apetrei* (Comitetul 11 — Maşini rotative) ; *E. Constantinescu* (Comitetul 23 — Staţii) ; *P. Dimo* şi *L. Groza* (Comitetul 32 — Planificarea şi exploatarea reţelelor) ; G. *Drăgan* (Comitetul 33 — Supratensiuni şi coordonarea izolaţiei) ; *G. Hortopan* (Comitetul 13 — Întrerupătoare) ; *C. Penescu* (Comitetul 34 — Protecţie, automatizare şi echipamente de telecomandă) ; *P. Petrescu* (Comitetul 21 — Cabluri izolate de înaltă tensiune) ; *A. Spînu* (Comitetul 35 — Teletransmisii).

În cadrul comitetelor de studii s-au discutat atît probleme tehnice cît şi administrative, precum şi alegerea subiectelor preferenţiale pentru sesiunea CIGRE 1972. În legătură cu problemele discutate în comitetele de studii, se vor prezenta ulterior rapoarte detaliate. Delegaţii români au participat la unele vizite tehnice organizate în cadrul sesiunii, dintre care :

— Centrala nucleară Saint-Laurent-des-Eaux, prevăzută pentru o putere de 1000 MW_e, avînd filiera de uraniu natural—grafit—gaz natural, fiind compusă din două tranşe : prima tranşă este în exploatare din 1969, iar a doua este prevăzută să intre în serviciu în martie 1971. S-a explicat incidentul petrecut în octombrie 1969, datorită unei erori de programare a dispozitivului principal de întreţinere. Deşi pagubele nu au fost importante, durata întreruperii a fost de aproape un an.

— Laboratoarele de la Marcoussis, aparţinînd întreprinderii „Campagne générale d'Electricité", în apropierea Parisului. S-a arătat că s-au efectuat cercetări de bază, printre care cîteva în legătură cu proiecte importante din tehnica curenţilor tari. Dintre acestea se menţionează : transportul de energie în curent continuu, supraconductibilitatea, arătîndu-se realizări practice în domeniul cablurilor de transport de energie electrică răcite la temperaturi foarte joase ; studii asupra generatorului electrochimic, cercetări privind laserul şi aplicaţiile sale industriale, dintre care au fost prezentate cîteva demonstraţii privind olografia.

— Laboratoarele de cercetare şi dezvoltare de la Massy, din apropierea Parisului, aparţinînd societăţii „Alsthom" construite în 1967. Se menţionează ca realizări : pile de combustibil cu putere pînă la 30 kW, cercetări asupra semiconductoarelor (pastile de siliciu de mare suprafaţă, finisarea şi pasivizarea tiristoarelor). În domeniul cryoelectrotehnicii s-a prezentat staţia de încercare a izolanţilor şi fluizilor, considerată în prezent ca cea mai mare din lume. În domeniul electrotehnicii şi automaticii s-a remarcat un regulator proporţional integral cu întîrziere şi adaptare, precum şi un calculator utilizînd reprezentarea aleatorie a informaţiei, Ca aplicaţie viitoare a acestuia se prevede preluarea funcţiunilor osciloperturbografului, cu posibilităţi mult mai mari în privinţa exactităţii şi a vitezei de înregistrare.

Rezultatele discuţiilor şi materialele documentare obţinute de participanţii la cea de-a 23-a sesiune a CIGRE vor fi folosite şi propuse spre aplicare în instituţiile şi organizaţiile interesate din ţară.

Într-unul din numerele viitoare ale revistei „Energetica" va apărea o listă completă a rapoartelor prezentate la această sesiune. De asemenea se vor prezenta şi cele două rapoarte româneşti.

Dr. ing. **L. Groza**

Informații tehnice

Un nou exponat în colecția Muzeului Tehnic: „Primul car de reportaj pentru televiziune"

De curînd în colecția de exponate a Muzeului Tehnic a mai intrat un obiect, și anume prima instalație mobilă de televiziune folosită în țara noastră, din anul 1957.

Această instalație cuprinde un complet de studiou cu toate generatoarele necesare formării imaginii și o instalație de emisiune care lucra în direct cu emițătorul de la Casa Scînteii. Este de menționat că această instalație mobilă era cuprinsă într-un autocar, de unde a primit denumirea de „car de reportaj".

În 1956, anul de naștere al televiziunii în țara noastră, se făceau doar transmisii experimentale. Cu timpul, avîndu-se în vedere multiplele posibilități de realizare a emisiunilor, se impunea dotarea televiziunii cu o instalație capabilă a se deplasa la locul diferitelor manifestări. Astfel, în cursul anului 1957 a fost cumpărat din U.R.S.S. acest car de reportaj, care timp de 12 ani a fost utilizat la maximum.

Cum este și normal, o dată cu trecerea timpului, cerințele au crescut și televiziunea română s-a dotat în continuare cu noi instalații mobile de diferite proveniențe: sovietică, franceză, engleză etc.

Din momentul cînd stația nu a mai putut asigura calitatea transmisiei, a fost propusă la casare. În acest fel anul 1969 constituie anul ieșirii din rețeaua de televiziune a primului car de reportaj

T.V., care, după circa 12 ani, intră în colecția Muzeului Tehnic, alături de prima stație de radiodifuziune din țară, de primul automobil care a circulat pe străzile Bucureștilor, de primul generator electric ce a funcționat în țară etc.

Intrat în colecția muzeului, primul car de reportaj T.V. va fi supus unei atente revizuiri, în scopul punerii lui în stare de funcțiune, fiind astfel păstrat ca mărturie a pionieratului televiziunii în țara noastră.

ION PETCU

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacția: București, str. Galați nr. 5—7, Sectorul II; Tel. 136683; 130053. Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament: nr. 30.01 01.00 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni și ingineri lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5.

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București — c. 5727

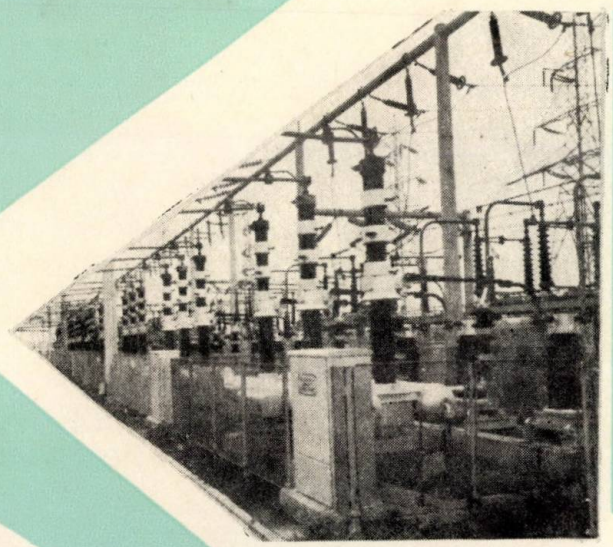
Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967

I.P.I. — C. 5808

41 401

INTREPRINDEREA

de rețele electrice



Constanța

ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE
CONSTANȚA
Str. Anton Nițescu nr. 77

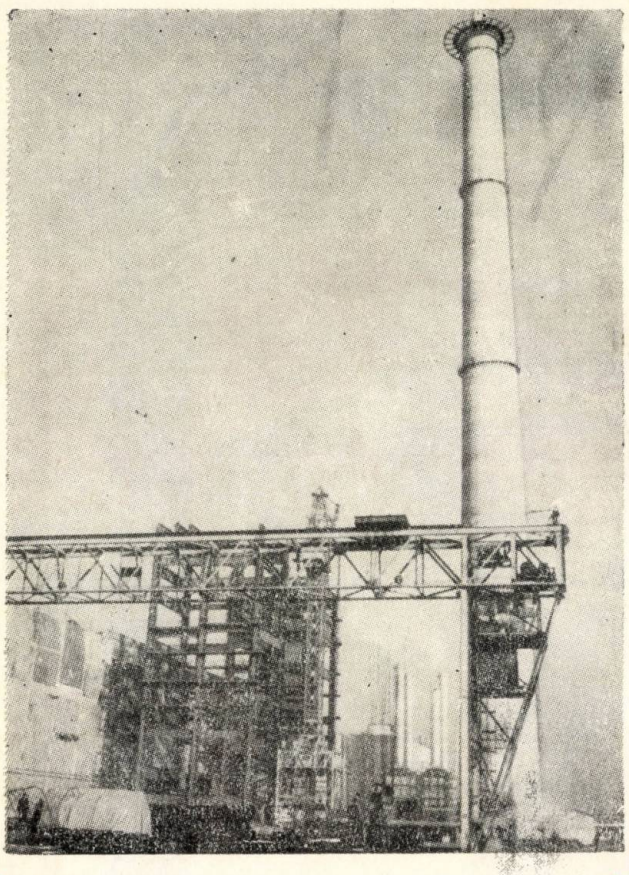
TRANSPORTĂ ȘI DISTRIBUIE:

energie electrică în rețele de înaltă, medie și joasă tensiune

PROIECTEAZĂ ȘI EXECUTĂ

- Rețele de joasă și medie tensiune
- Stații și posturi de transformare
- Instalații de iluminat exterior
- Instalații de electrificare în mediul rural
- Instalații exterioare
- Branșamente

TRUSTUL DE CONSTRUCŢII ŞI MONTAJE ENERGETICE
Bucureşti, Calea Moşilor nr. 158



EXECUTĂ PRIN UNITĂŢILE SALE:

Lucrări de construcţii la centrale termoelectrice echipate cu grupuri de 25-315 MW

Montaje de centrale termoelectrice echipate cu grupuri de 25-315 MW şi centrale hidroelectrice de 5, 5-170 MW

Reţele de termoficare industrială şi urbană

Centrale termice echipate cu cazane de apă fierbinte

Instalaţii de a. m. c. pentru centrale electrice

Instalaţii hidromecanice pentru centrale electrice

Construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice

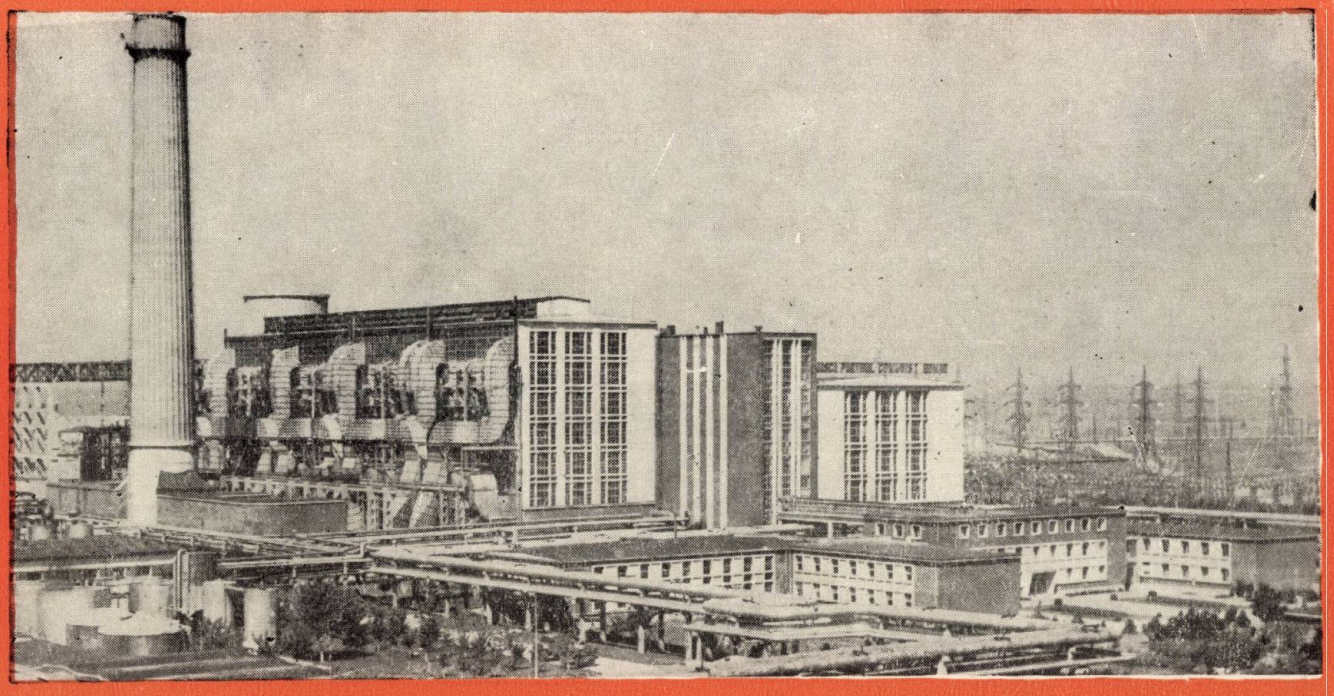
Staţii electrice de conexiuni interne şi externe de 20-400 kV

Confecţii metalice aferente centralelor termoelectrice

TCME

IEC PLOIEŞTI

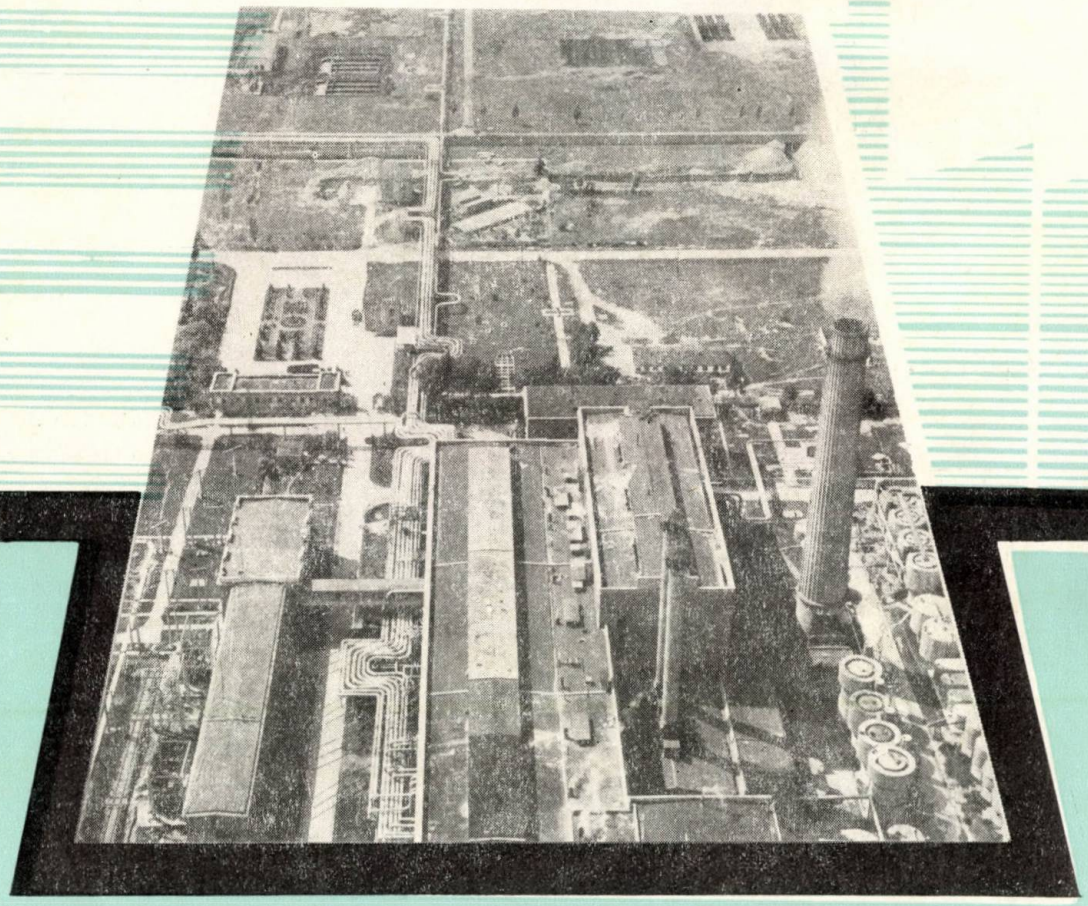
Prin centralele sale electrice, I. E. C. Ploieşti furnizează energie electrică sistemului energetic naţional.



Centrala electrică de termoficare Brazi livrează căldură consumatorilor de pe platforma industrială Brazi, serelor şi ansamblelor de locuinţe din municipiul Ploieşti.

Centrala termoelectrică Doiceşti livrează şi cenuşă pentru fabricarea betonului celular autoclavizat şi a cimenturilor speciale.

ÎNTREPRINDEREA
electrocentrale borzești



CENTRALA ELECTRICĂ DE TERMOFICARE BORZEȘTI

Centrală înzestrată cu echipament și instalații moderne, producătoare de energie electrică și termică, cu o putere instalată de 235 MW

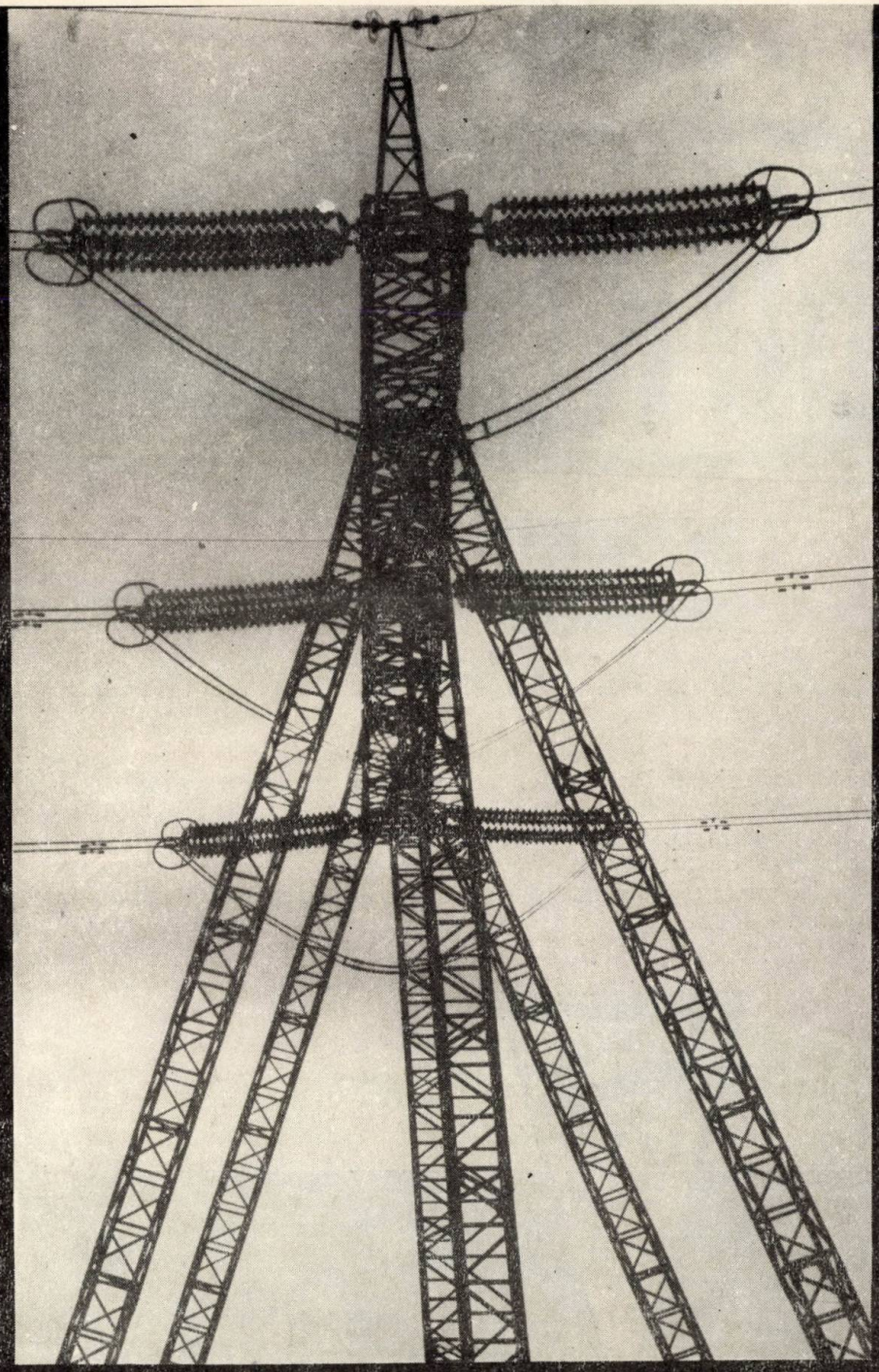
PRIN PROCESUL DE PRODUCȚIE ASIGURĂ:

- alimentarea cu energie electrică și termică a consumatorilor industriali de pe platforma Borzești Gh. Gheorghiu-Dej.
- alimentarea cu energie electrică și termică a orașului Gh. Gheorghiu-Dej

Centrala este interconectată la sistemul energetic național, căruia îi furnizează energie electrică

INTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE BORZESTI
Orașul Gh. Gheorghiu Dej, jud. Bacău

ÎNTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ SIBIU
str. Lector nr. 12



ÎNTREPRINDEREA
ELECTROMONTAJ
SIBIU

EXECUTĂ:

Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV

Linii electrice de distribuţie

Reţele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV

Staţii de transformare 35 - 400 k V

Staţii de distribuţie şi posturi de transformare

Reţele de iluminat public

Electrificări rurale

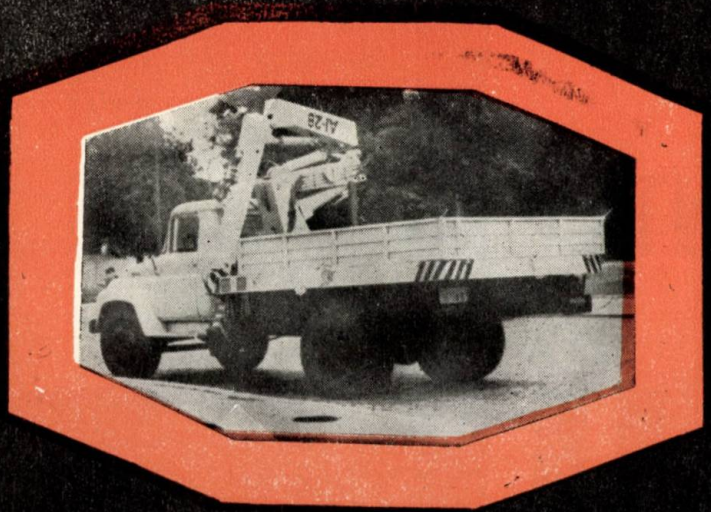
ENERGOREPARAȚII

AUTOÎNCĂRCĂTORUL AI-28

destinat mecanizării unor lucrări privind încărcarea, transportul și descărcarea de materiale și utilaje folosite la montarea liniilor electrice, ca: stîlpi, transformatoare, întrerupătoare etc., putînd fi utilizat în orice alte domenii pentru execuția rapidă a operațiilor de încărcare, transport și descărcare a obiectelor grele.

Platforma autocamionului pe care este montată instalația de ridicat rămîne liberă pentru transportul materialelor.

PROMETEU



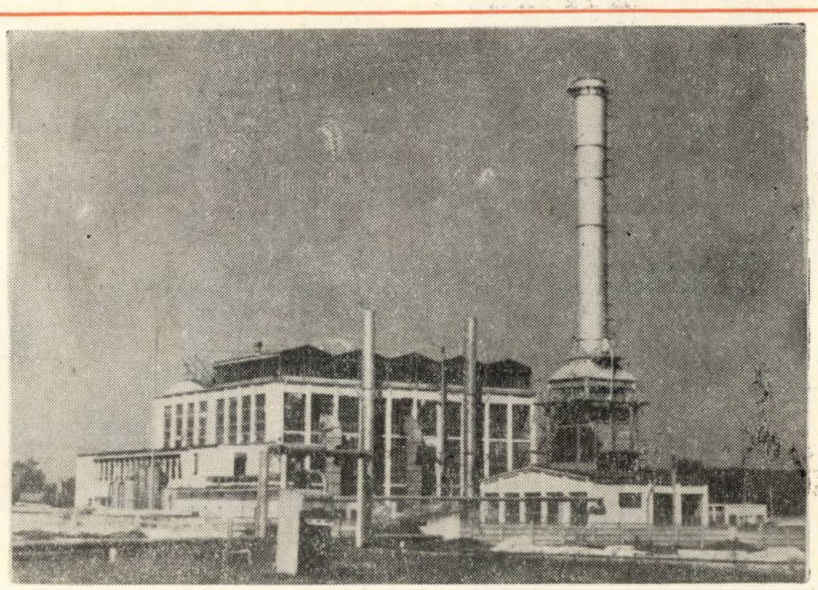
CARACTERISTICI TEHNICE:

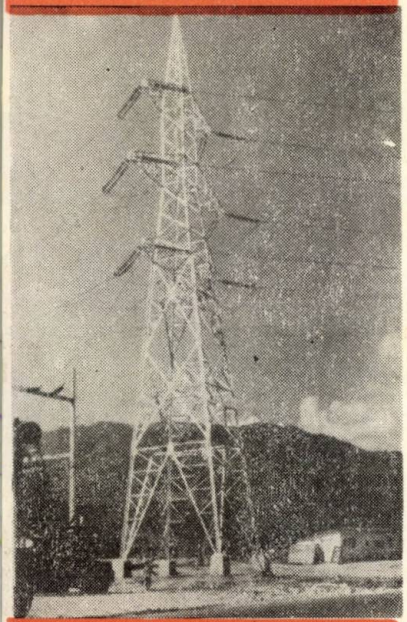
•Înălțimea maximă de ridicare la cîrlig de la sol	7,5 m
•Raza maximă de lucru, lateral din axa mașinii, cu brațul complet extins	5,7 m
•Capacitatea de ridicare:	
— la o rază de lucru de 5,7 m	1 200 kgf
— la o rază de lucru de 2,7 m	2 000 kgf
•Viteza de ridicare a sarcinii	18 m/min
•Unghiul de rotire a brațului în plan orizontal	310°
•Masa instalației fără autovehicol purtător	circa 2,8 tf

ÎNTREPRINDEREA ENERGOREPARAȚII
BUCUREȘTI

Bd. Mărăşeşti nr. 2, sect. 5

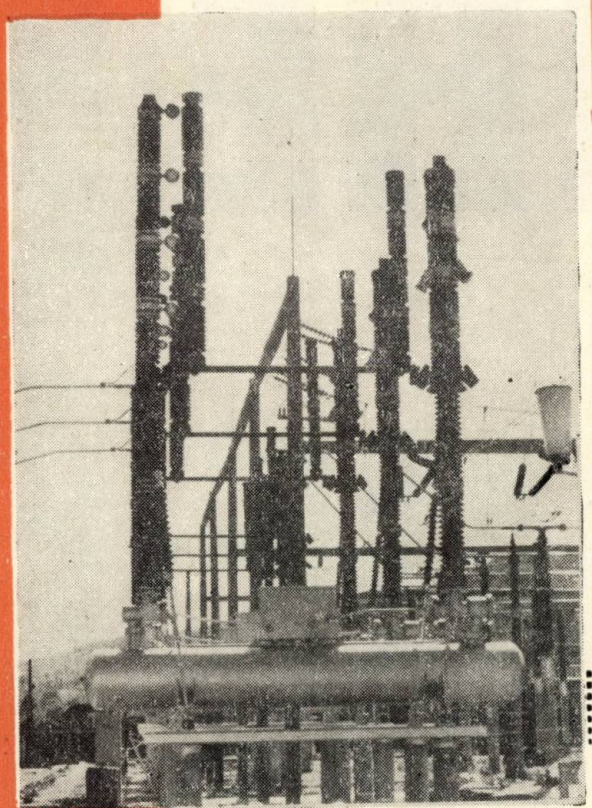
IRE





ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE
PITEȘTI
Str Republicii 148

pitești



PROIECTEAZĂ, CONSTRUIEȘTE, ÎNTREȚINE ȘI EXPLOATEAZĂ PRIN UNITĂȚILE SALE DIN JUDEȚELE ARGEȘ, OLT ȘI RÎMNICU VÎLCEA:

- STAȚII ȘI POSTURI DE TRANSFORMARE
- LINII DE TRANSPORT ȘI DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE
- INSTALAȚII INTERIOARE ATÎT PENTRU UNITĂȚILE SOCIALISTE CÎT ȘI PENTRU PARTICULARI.

IRE

IRE

IRE

IRE

IRE

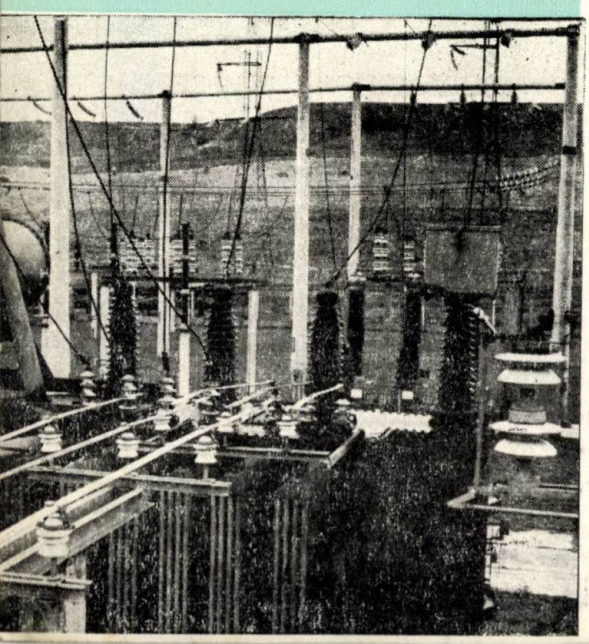
IRE

TG. MUREȘ

Transportă și distribuie energie electrică în rețele de înaltă, medie și joasă tensiune

EXECUTĂ:

- Verificări de aparate electrice de măsură și control în laboratorul PRAM
- Lucrări de construcții-montaj la electrificări rurale și industriale și instalații interioare
- Lucrări de întreținere la iluminatul public
- Proiecte de instalații energetice



INTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE
TG. MUREȘ Str. Elba nr. 5

institutul de studii și proiectări hidroenergetice

execută

- studii şi proiecte
- prospecţiuni
- cercetări de laborator
- consulting and engineering

pentru

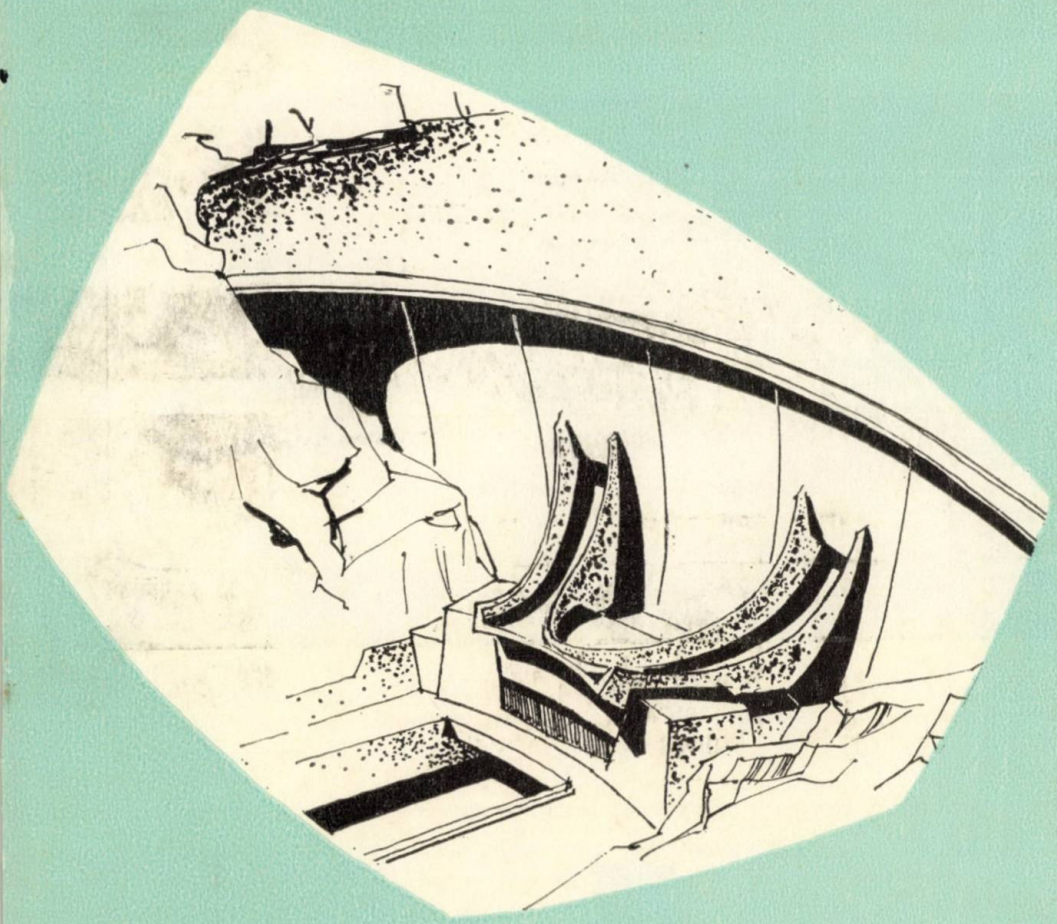
schème de amenajări hidroelectrice, centrale hidroelectrice, baraje de diverse tipuri, ecluze pentru navigaţie, construcţii subterane şi alte construcţii hidrotehnice.

éxécute

- études et projets
- prospections
- recherches de laboratoire
- consulting and engineering

pour

schémas d'aménagements hydro-électriques, centrales hydro-électriques, barrages de divers types, écluses pour la navigation, constructions souterraines et d'autres constructions hydro techniques



carries out

- studies and designs
- prospections
- laboratory researches
- consulting and engineering

for

schemes for hydro-electric deve lopments, hydro-electric plants, different types of dams, navigation locks, underground constructions and other hydraulic works

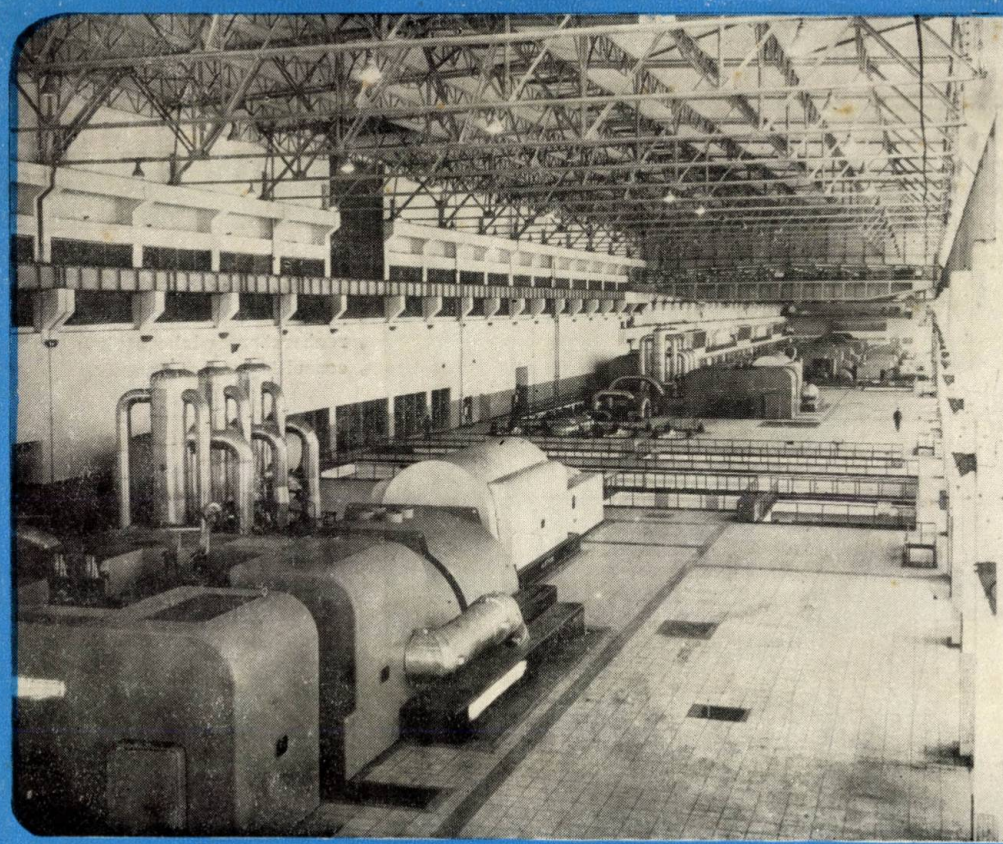
ISPH

Bucureşti, Bd. Republicii nr. 29

ÎNTREPRINDEREA

Energomontaj

Calea Dorobanţilor nr. 105



EXECUTĂ

LUCRĂRI

DE MONTAJ

PENTRU:

- Compensatoare sincrone
- Instalaţii termomecanice auxiliare ale centralelor termoelectrice şi echipament hidromecanic
- Instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune
- Instalaţii de măsură, control şi automatizare

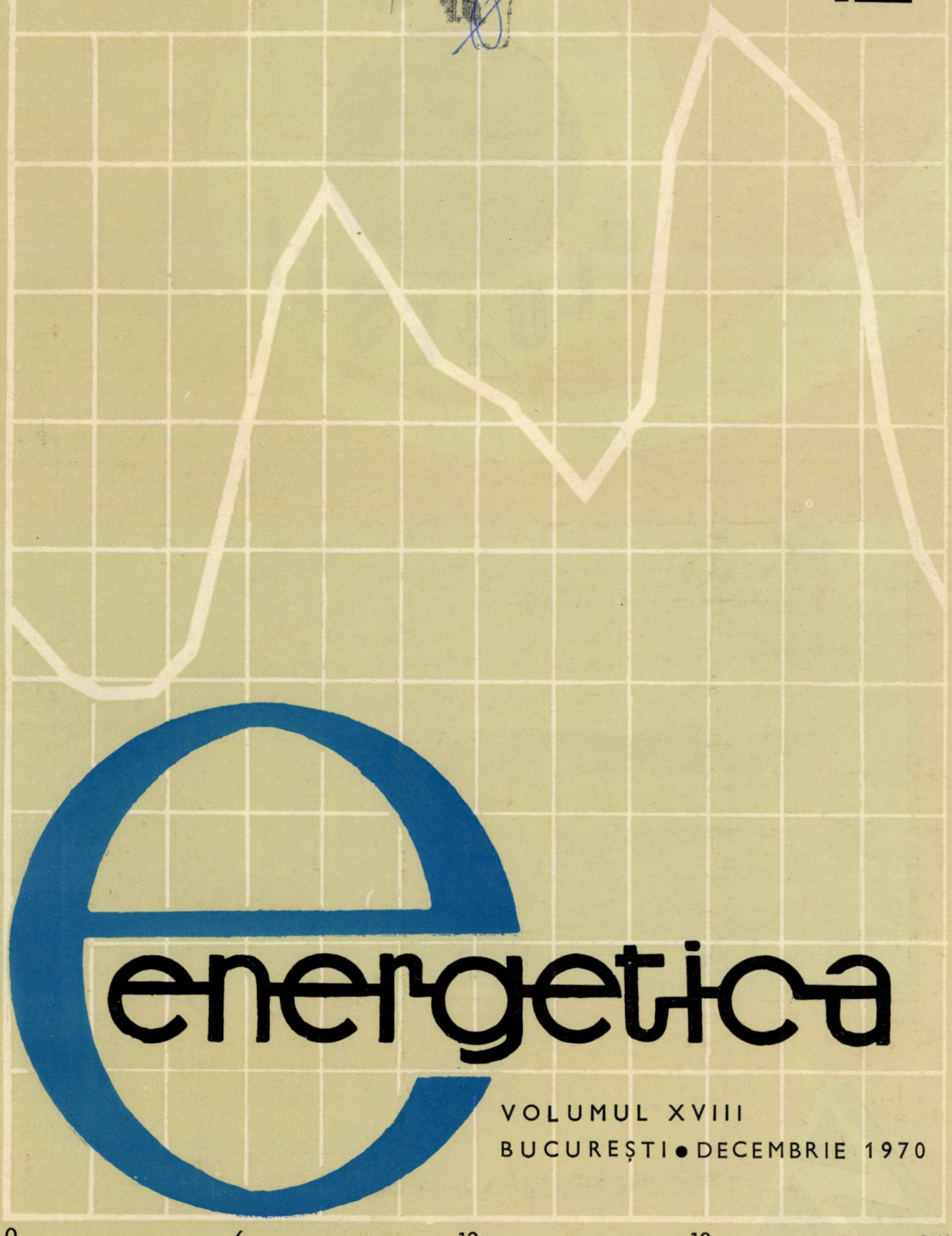
- Turbine cu abur, dela 6 MW la 315 MW
- Turbine cu gaze
- Turbine hidraulice, de la 5,5 MW la 170 MW
- Cazane de abur cu parametrii ridicaţi:
  - — 500 t abur/h, 215 at, 514 °C
  - — 640 t abur/h, 140 at, 570 °C

E 2039

MW

04

12



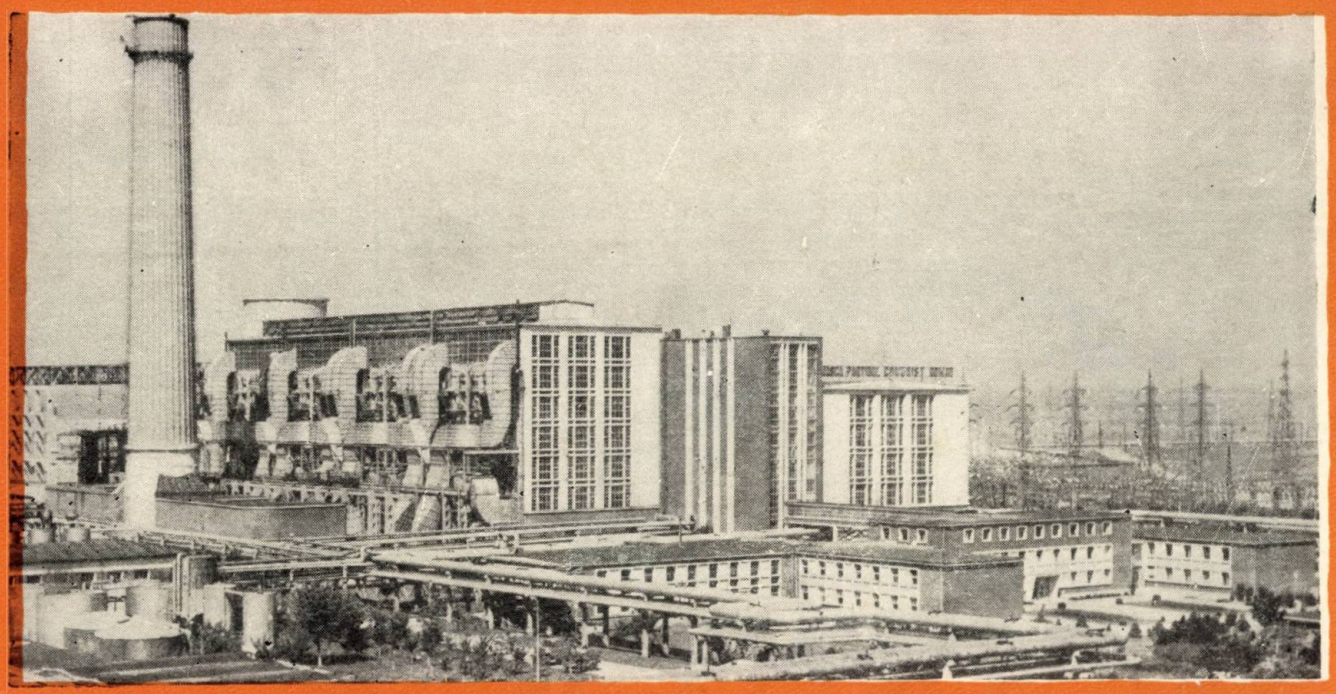
energetica

VOLUMUL XVIII
BUCUREȘTI • DECEMBRIE 1970

0 6 12 18 24

I E C PLOIEȘTI

Prin centralele sale electrice, I. E. C. Ploieşti furnizează energie electrică sistemului energetic naţional.



Centrala electrică de termoficare Brazi livrează căldură consumatorilor de pe platforma industrială Brazi, serelor şi ansamblelor de locuinţe din municipiul Ploieşti.

Centrala termoelectrică Doiceşti livrează şi cenuşă pentru fabricarea betonului celular autoclavizat şi a cimenturilor speciale.

MŰSZAKI KÖNYVTÁR DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLY 1883

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 18 Nr. 12 Decembrie

Cuprinsul

		Pag.
Costin, E.	**Optimizarea dezvoltării reţelelor electrice urbane prin programare dinamică**	521—526
Bunea, C., Duma, M. şi *Petroianu, Al.*	**Calcule operative de dispecer pentru verificarea siguranţei în funcţionare a sistemului energetic. Simularea pe calculator a efectelor manevrelor în reţeaua de înaltă tensiune**	527—533
Albert, H. şi *Bogan, M.*	**Condiţii şi criterii de siguranţă pentru determinarea structurii reţelelor de distribuţie urbană de medie tensiune**	534—538
Staicu, I. C.	**Stabilirea relaţiei consumului de abur al ejectorului pentru condensator, cu ajutorul analizei dimensionale generale**	538—540
Stanisavlievici, L.	**Consideraţii privind stratul protector de „magnetită" în cazane de presiune înaltă**	540—544
Gheorghe Adrian	**Centrala termoelectrică — sistem cibernetic de producţie**	545—550

RECENZII

CRONICĂ

INFORMAŢII

CUPRINSUL REVISTEI „ENERGETICA" VOL. 18 (1970)

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI. conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, conf. dr. ing. V. I. NITU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ȘI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

STR. EROU IANCU NICOLAE NR. 32 • SECTORUL 2
TELEFON 33.38.30 • TELEX. 011203

produce:

PIESE RADIO

- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare cu polistiren
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare cu hîrtie uz general
- Condensatoare cu hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate

DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

- Tranzistoare cu germaniu de joasă frecvență
  - — de mică putere
  - — de medie putere
  - — de putere
- Tranzistoare cu germaniu, de înaltă frecvență
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu cu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.315.1:65.01

Костин, Е.: **Оптимизация развития городских электрических сетей путём динамического программирования.**

Излагаются принципы динамического программирования и возможности применения метода для получения оптимальных решений в целях определения схем и разбивки их во времени.

Energetica 18 (1970), № 12, стр. 521–526

ДК 621.31:681.32

Буня, К., Дума, М. и *Петрояну, Ал.:* **Оперативные диспетчерские расчёты для проверки надёжности работы энергетической системы. Симулирование на ЭВМ последствий выполняемых в высоковольтной сети операций**

В статье приводится метод расчёта, алгорифм и программа для определения вариаций рабочих параметров стационарных режимов в результате изменения конфигураций сетей или выработки мощности.

Energetica 18 (1970), № 12, стр. 527–533

ДК 621.316.1.027.6

Алберт, Х. и *Богап, М:* **Условия и критерии надёжности для определения структуры городских распределительных сетей среднего напряжения**

Рассматриваются методы и соответствующие результаты полученные посредством стохастических марковских процессов по ряду применяемых в городских сетях схем и предлагаются показатели для оценки степени надёжности их работы.

Energetica 18 (1970), № 12, стр. 534–538

ДК 621.175

Стайку, И. К.: **Определение отношения для расчета расхода пара эжектора конденсатора посредством общего размерного анализа**

На основание общего размерного анализа выводится известное аналитическое отношение по определению расхода пара эжектора для отсоса воздуха из конденсатора паротурбинной установки. Указанный метод можно применить также в случае явлений для которых не известны математические отношения.

Energetica 18 (1970), № 12, стр. 538–540

ДК 621.18

Станисавлиевич, Л.: **Соображения по защитному слою „магнетита" в котлах высокого давления**

Рассматривая результаты наблюдений и теоретичиеских и практических исследований, автор делает ценные выводы по выбору материалов и химической обработке боды в теплоэнергетических установках.

Energetica 18 (1970), № 12, стр. 540–544

DK 621.311.22:681.3

Адриан Георге: **Теплоэлектростанция — система кибернетического производства**

В статье рассматривается широко применяемое понятие, обычно выражаемое эмпирическим путем и реализуемое техническими способами в каждом практическом случае в отделности, но для которого до настоящего времени не выработаны формулировки с использованием принципов и математических приемов кибернетики.

Energetica 18 (1970), № 12, стр. 545–550

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621. 315. 1:65.01

Costin, E.: **Die Optimisierung der Entwicklung städtischer Verteilungsnetze durch dynamische Programmierung**

Es werden die Grundlagen der dynamische Programmierung sowie die Anwendungsmöglichkeiten dieser Methode zwecks Erhaltung optimaler Lösungen für die Festlegung der Schaltbilder und ihrer Entwicklung in der Zeit, vorgelegt.

Energetica 18 (1970), H. 12, S. 521–526

DK 621.31:681.32

Bunea, C., Duma, M. und *Petroianu, Al.:* **Laufende Lastverteilerberechnungen zur Überprüfung der Betriebssicherheit des Stromübertragungsnetzes. Simulierung auf ein Rechner der Folgen von Schaltungen in Hochspannungsnetzen**

Es werden hier die Berechnungsmethode, das Algorithmus und der Program, welche die Festlegung der Betriebsparameteränderungen für stationäre Betriebsbedingungen nach Änderung der Netzschaltbilder oder der Krafterzeugung, ermöglichen, dargestellt.

Energetica 18 (1970), H. 12, S. 527–533

DK 621.316.1.027.6

Albert, H. und *Bogan, M.:* **Sicherheitsbedingungen und-kriterien zur Festlegung der Struktur städtischer Mittelspannungs Verteilungsnetzen**

Die, durch die Methode Markov-artiger, stochastischer Vorgänge, für einige in städtischen Verteilungsnetzen verwendeten Schaltbilder, erhaltene Ergebnisse, werden angegeben; Kennziffer zur Schätzung der Betriebssicherheit, sind auch vorgeschlagen.

Energetica 18 (1970), H. 12, S. 534–538

DK 621. 175

Staicu, I. C.: **Dampfverbrauch für ein Kondensator-Ejektor mittels Gesamtdimensionalanalyse berechnet**

Die Gesamtdimensionalanalyse wird zur Ableitung der bekannten analytischen Gleichung des Dampfverbrauches eines Ejektors welcher die Luft aus dem Kondensator einer Dampfturbine absaugt, verwendet. Diese Methode kann ähnlicherweise für Phänomene für welche keine analytische Gleichungen bekannt sind, dienen.

Energetica 18 (1970), H. 12, S. 538–540

DK 621.18

Stanisavlievici, L.: **Betrachtungen über die „Magnetit"-Schutzschicht in Hochdruckkessel**

Nach Untersuchung der Ergebnisse theoretischer und praktischer Forschungen und Beobachtungen, weren interessante Schlussfolgerungen über Materialwahl und chemische Wasseraufbereitung in Wärmekraftwerken, aufgezeigt.

Energetica 18 (1970), H. 12, S. 540–544

ДК 621.311.22:681.3

Gheorghe, Adrian: **Das Wärmekraftwerk — ein kybernetisches Erzeugungssystem**

Der Verfasser stellt vor eine sehr allgemeine Idee, die üblicherweise für jeden praktischen Fall, empirisch geäussert oder technisch gelöst wird, für welche aber bis heutzutage zwar keine Erklärungen welche die Grundlagen und mathematischen Mittel der Kybernetik verwenden, gegeben wurden.

Energetica 18 (1970), H. 12, S. 545–550

SOMMAIRE

CD 621.315.1 :65.01

Costin, E. : **L'optimisation du développement des réseaux électriques urbains par programmation dynamique**

Présentation des principes de la programmation dynamique et possibilités d'application offertes par cette méthode pour obtenir des solutions optimales dans le but d'établir des schémes et leur échelonement dans le temps.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 521—526

CD. 621.31 :681.32

Bunea, C., Duma, M. et *Petroianu, Al.* : **Calculs opératifs du dispatcher en vue de vérifier la sécurité de fonctionnement du réseau énergétique. Simulation sur calculateur des effets des manoeuvres dans le réseau de haute tension**

Cet article présente une méthode de calcul, l'algorithme et le programme permettant de déterminer les variations des paramètres de fonctionnement des régimess stationnaires comme suite aux modifications survenues dans la configuration des reseaux ou dans la production de puissance.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 527—533

CD 621.316.1.027.6.

Albert, H. et *Bogan, M.* : **Conditions et critériums de sécurité pour déterminer la structure des réseaux de distribution urbaine de moyenne tension**

Les auteurs présentent les méthodes et les résultats obtenus par la méthode des processus aléatoires de type Markov pour une série de schémas utilisés dans les réseaux urbains et proposent des indicateurs servant à l'estimation du degré de sécurité de fonctionnement de ces réseaux.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 534—538

CD 621.175

Staicu, I. C. : **Etablissement de la relation de consommation de vapeur de l'éjecteur pour le condensateur à l'aide de l'analyse dimensionnelle générale**

Il s'agit d'une déduction faite à l'aide de l'analyse dimensionnelle générale de la relation analytique bien connue pour la consommation de vapeur de l'éjecteur qui élimine l'air du condensateur de la turbine à vapeur. Cette méthode s'applique aussi aux phénomènes pour lesquels on ne connait pas de relations analytiques.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 538—540

CD 621.18

Stanisavlievici, L. : **Conisidérations sur la couche protectrice de ,,magnétite'' dans les chaudières de haute pression**

L'auteur analyse les résultats de quelques observations et recherches théoriques et pratiques et arrive à des conclusions intéressantes concernant l'emploi des matériaux et le traitement chimique de l'eau dans les installations thermiques.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 540—544

CD 621.311.22 :681.3

Gheorghe Adrian : **La centrale thermique — système cybernétique de production**

L'article traite une idée très générale, habituellement exprimée de manière empirique et résolue du point de vue technique pour chaque cas à part, mais qui n'a pas encore été énoncée en utilisant les principes et l'appareil mathématique de la cybernétique.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 545—550

CONTENTS

DC 621.315.1 :65.01

Costin, E. : **The optimizing of the development of urban power networks by means of dynamic programming**

The author presents the principles of dynamic programming and the possibilities to apply this method to obtain optimal solutions for establishing diagrams and spacing them out in time.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 521—526

DC 621.31 :681.32

Bunea, C., Duma, M. and *Petroianu, Al.* : **Operational dispatching calculations for checking out the operating safety of the power system. Simulating on the computer of the effects of operations carried out in the H. V. system**

This paper presents a method of calculation, the algorythm and program permitting to establish the variations of operating parameters of steady-state conditions following some changes in the configuration of power system or in power production.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 527—533

DC 621.316.1.027.6.

Albert, H. and *Bogan, M.* : **Safety conditions and criteria for establishing the structure of medium urban voltage power distribution networks**

Here are the methods and results obtained by applying the method of Markov type random processes to a series of diagrams used for urban networks; indicators are proposed to appreciate the degree of operating safety of these networks.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 534—538

DC 621.175.

Staicu, I. C. : **Establishing the relation of the steam consumption of the ejector for the condenser by means of a general dimensional analysis**

This is a deduction using general dimensional analysis of the well known relation of steam consumption for the ejector blowing out air from the condenser of a steam turbine set. This method may be used for phenomena which have unknown analytical relations.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 538—540

DC 621.18

Stanisavlievici, L. : **Considerations about the protective layer of ,,magnetite'' in high pressure boilers**

After analyzing the results of some practical and theoretic researches and observations, the author reaches interesting conclusions concerning the selection of materials and the chemical treatment of water in thermal plants.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 540—544

DC 621.311.22 :681.3

Gheorghe Adrian : **The thermal power station — a cybernetic system of production**

The article deals with a higly general idea, usually empirically expressed and technically solved separately for each practical case for which, however, no ennunciation using the principles and the mathematical apparatus of cybernetics was ever made.

Energetica 18 (1970), no. 12, p. 545—550

Optimizarea dezvoltării rețelelor electrice urbane prin programare dinamică

Ing. E. Costin*)

1. Generalități

1.1. Este cunoscut faptul că în prezent are loc o acțiune susținută de sistematizare a concepțiilor privind evoluția așezărilor urbane din România. În acest cadru, dezvoltarea rețelei de alimentare cu energie electrică ridică probleme tot mai complexe, legate în principal de stabilirea unei concepții unitare a rețelei, concepție care să fie viabilă și avantajoasă economic în condițiile în prezent necunoscute ale dezvoltării viitoare.

1.2. Adoptarea unor decizii asupra viitorului, fie ele și referitoare la linii generale de urmat în perspectivă, depinde de studiul unor măsuri a căror variație în timp nu este și nu poate fi cunoscută dinainte cu certitudine. Acest fel de probleme sînt cunoscute sub numele generic de decizii în viitor aleatoriu. Într-adevăr, mărimile în cauză pot fi tratate ca variabile aleatorii, care pot lua diverse valori cu anumite probabilități. Dacă problema se pune astfel, calculul se transformă dintr-un calcul de stabilire (optimizare) a unor valori precise într-un calcul de estimare a unor medii sau speranțe matematice ale valorilor ce pot fi luate de către mărimile aleatorii studiate.

1.3. Dezvoltarea rețelelor electrice urbane este un proces continuu în timp. În mod practic, rețeaua oricărui oraș suferă în permanență modificări și suplimentări, fiecare din aceste operații fiind de amploare relativ neînsemnată în comparație cu întregul ansamblu. Cu toate acestea, din considerente simplificatoare lesne de înțeles, care sînt acceptate practic în toate domeniile activității economice, variabila timp a procesului de dezvoltare se cuantifică, se discretizează. Prin aceasta, studiului unui proces dinamic continuu i se substituie studiul unui proces secvențial în care etapele (anuale sau multianuale) se tratează static, prin analiza fiecăreia luată separat și considerată în afara conexiunii dinamice (ca și cum o fotografie ar înregistra un stadiu instantaneu al procesului).

Cum în cadrul unei anumite etape a procesului secvențial sînt posibile diverse soluții ale problemei satisfacerii consumului, problema optimizării dezvoltării rețelei rezidă în stabilirea și compararea pe criterii tehnico-economice a unui șir de strategii**) care răspund condiției impuse : alimentarea cu energie electrică a consumatorilor în condiții normale.

1.4. Desigur, majorarea numărului de strategii studiate se află în strînsă legătură cu găsirea unei strategii a cărei economicitate să fie mai avansată. În același timp însă, sporirea numărului de strategii conduce la un spor corespunzător de volum și timp de muncă, care prezintă anumite limitări bine conturate.

Introducerea în acest domeniu a tehnicii de calcul cifric a permis accelerarea considerabilă a calculelor pregătitoare, facilitînd adîncirea studiilor de optimizare a dezvoltării rețelelor urbane prin mărirea la mai mult decît dublu a numărului de strategii studiate [1].

2. Obținerea soluției optime prin programare dinamică

2.1. Un nou pas pe același drum este reprezentat de utilizarea în scopuri de optimizare a programării dinamice.

Într-adevăr, dacă problema dezvoltării rețelei urbane se pune ca problemă a unui șir de dezvoltări pe etape (anuale, de cinci ani, de zece ani etc.), în care de la fiecare etapă se poate trece prin diverse soluții la etapa următoare, găsirea strategiei optime de dezvoltare în perioada totală dată, compusă din N etape, se traduce matematic în optimizarea unei funcții de tipul :

$$f_{o,N} = \Sigma\ C_{ir,jt}(X_\alpha\ X_\beta,\ldots,),$$

care reprezintă costul total al unei secvențe de tranziții de la etapa i soluția r la etapa j soluția t, depinzînd de o serie de variabile $(X_\alpha,\ X_\beta,\ldots,)$ fie numai deterministe, fie aleatorii și deterministe. Aceste variabile — consumul de energie electrică, tensiunea utilizată etc. — sînt cele care determină în esență costurile de optimizat.

Această formă reprezintă de fapt o particularizare a ecuației funcționale fundamentale a programării dinamice :

$$f(p) = OPT\ [H(p,\ q,\ f(T(p,\ q)))].$$

2.2. Problema poate fi tratată în două moduri distincte, după cum evoluția consumului se consideră sau nu ca variabilă aleatorie :

— programare dinamică în viitor determinist ;

— programare dinamică în viitor aleatoriu.

Dacă pentru concretizarea imaginilor recurgem la reprezentarea prin grafe, obținem grafele din figura 1 pentru cazul determinist și-cele din figura 2 pentru tratarea în viitor aleatoriu.

Programarea dinamică în viitor aleatoriu comportă unele precizări. Într-adevăr, dezvoltarea unei rețele urbane depinde de mai mulți factori aleatorii, consumul fiind numai

*) Ing. Emil Costin este proiectant principal la ISPE.

**) Prin strategie se înțelege o secvență de soluții corespunzînd etapelor de desfășurare a procesului, alese cu condiția existenței posibilității de tranziție de la o soluție la următoarea.

unul dintre ei. Alţi factori care ar putea fi citaţi sînt: preţuri ce se modifică, schimbînd economicitatea unor soluţii; apariţia de soluţii tehnice noi, mai avantajoase; procurarea mai

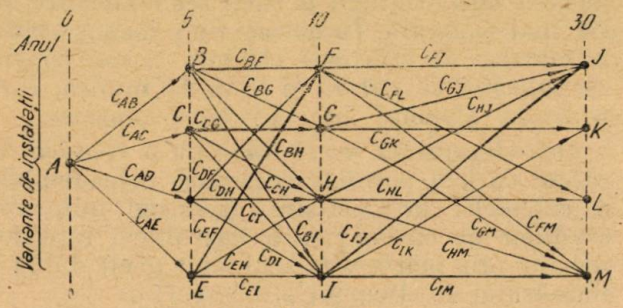


Fig. 1

facilă a unor tipuri de instalaţii; modificări în unele concepţii de sistematizare urbanistică; variaţii în numărul populaţiei urbane.

Consumul, ca variabilă aleatorie, influenţează toate tranziţiile, în sensul că, alegînd mai multe praguri de consum cu posibilităţi date, se obţin tot atîtea valori ale tuturor costurilor de tranziţie (socotind că soluţiile pe etape luate în considerare fac faţă în orice caz consumului cu probabilitatea prevăzută). Problema poate fi soluţionată şi fără această restricţie, prin penalizări la alimentarea consumului, dar aceasta complică prezentarea, astfel că în primă aproximare se va lua în considerare restricţia menţionată.

Punînd problema în acest fel, tuturor costurilor de trecere considerate pentru o soluţie li se poate substitui speranţa lor matematică, costul unei tranziţii (care de această dată va depinde numai de soluţia aleasă) putînd fi calculat ca:

$$c_{ij} = \Sigma\, p_k\, c_{ij}^k,$$

în care:

p_k este probabilitatea valorii k a consumului;
c_{ij}^k — costul tranziţiei c_{ij} pentru probabilitatea p_k.

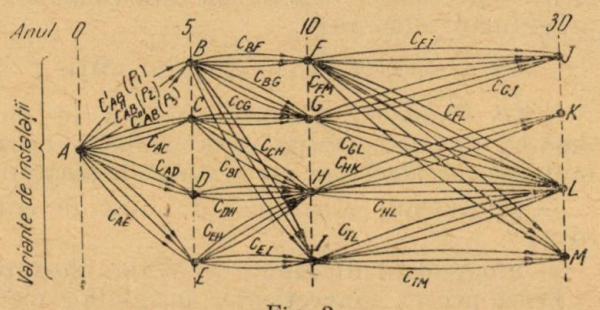


Fig. 2

Celelalte mărimi aleatorii (în afara consumului) nu pot influenţa tranziţiile în aceeaşi măsură: de exemplu, modificarea unor preţuri de echipament schimbă numai unele raporturi de cost total, putînd modifica ordinea soluţiilor În acelaşi timp trebuie observat că legile de probabilitate ale unor asemenea modificări sînt practic necunoscute apriori, astfel că nu pot fi luate în considerare în calcule.

2.3. Ţinînd seamă de specificul problemei date, se observă că nu pot fi sărite etape; fiecărei tranziţii i se poate ataşa o matrice a costurilor $\|c_{rt}\|$, care cuprinde costurile tuturor tranziţiilor posibile între cele două etape consecutive considerate.

În cazul programării în viitor aleatoriu, fiecărei tranziţii i se ataşează un tensor tridimensional cu termeni A_{mnp}, care reprezintă costurile tranziţiilor de la varianta m a primei etape la varianta n a următoarei etape, cu probabilitatea p. În lipsa vreunei posibilităţi de tranziţie, în matricea respectivă de costuri apare un cost infinit (∞).

2.4. Soluţia problemei de programare dinamică se obţine pe baza principiului optimalităţii al lui R. Bellman, conform căruia o politică optimă este compusă numai din subpolitici optime:

$$F^*(c_0, c_N) = \underset{c_{N-1}}{OPT}\, [f_{0,N-1}(c_0, c_{N-1}) + v_N(c_{N-1}, c_N)]$$

Pentru obţinerea soluţiei este necesară şi suficientă cunoaşterea tuturor matricelor de tranziţie.

Modul de rezolvare a acestei probleme este cunoscut din literatura de specialitate [2], [3], astfel încît nu face obiectul prezentării de faţă.

Desigur, soluţionarea prin programare dinamică poate ridica unele probleme de volum al memoriei calculatoarelor, dacă soluţiile sînt căutate în formă generală [4]. Dacă însă se face apel la programarea dinamică discretă, care de altfel şi-a mai găsit unele aplicaţii în energetică în ţara noastră şi este suficient de bine cunoscută, soluţiile pot fi obţinute cu ajutorul unor programe existente [5], utilizabile pe calculatoarele de volum mediu, de care dispunem în prezent. Elemente suplimentare referitoare la aceste programe, scheme logice etc., pot fi obţinute din bibliografia citată.

2.5. Utilizarea programării dinamice în scopul soluţionării problemei citate prezintă o serie de avantaje, printre care:

— Posibilitatea automatizării calculelor de determinare a soluţiei optime. Sînt cunoscute algoritme şi programe de calcul pentru rezolvarea pe ordinator a acestei probleme.

— Obţinerea cu acelaşi volum de muncă a unor analize cu mult mai amănunţite. Într-adevăr, fiind date k etape cu cîte n_k soluţii fiecare, prin studiul unui număr de

$$N = \sum_k^k n_k$$

soluţii individuale, se poate obţine un număr de

$$S = \prod_k n_k$$

strategii, corespunzînd tuturor combinațiilor posibile de tranziții ; în același timp calculul „clasic" nu permite depășirea studiului a N strategii.

Se menționează că, o dată cu soluția optimă, programarea dinamică permite obținerea unui șir de soluții cu economicitate aranjată în ordine descrescătoare, soluții denumite penoptime sau k-optimale. Studiul soluției, împreună cu cele penoptime, permite în mod suplimentar să se stabilească o orientare în privința influenței uneia sau alteia dintre variantele de echipare și dezvoltare.

3. Studiile de optimizare a dezvoltării rețelelor urbane au scopul concret de a furniza indicații asupra mai multor elemente de însemnătate primordială care implică opțiuni grevînd dezvoltarea viitoare

Dintre acestea citățm:

3.1. Stabilirea tensiunii optime de perspectivă pentru rețelele de distribuție de medie tensiune, ținînd seamă de situația existentă, de posibilitățile schimbării tensiunii existente și de perspectivele de dezvoltare.

3.2. Opțiuni asupra tipului de schemă de distribuție de adoptat în perspectivă, comparînd diverse scheme și combinații de scheme cunoscute, printre care :

— scheme cu și fără puncte de alimentare la medie tensiune ;

— scheme cu rezervă asigurată prin rețeaua de medie tensiune (stații de injecție cu un singur transformator) ;

— scheme cu rezervă asigurată în cadrul stațiilor (stații cu mai multe transformatoare) ;

— scheme cu „racord adînc", sau scheme cu amplasare periferică a stațiilor de injecție.

3.3. Determinarea unor elemente de dimensionare, ca :

— puterea optimă a stațiilor de injecție în rețeaua de medie tensiune ;

— secțiunile preferabile pentru rețeaua de distribuție de medie tensiune ;

— puterile unitare ale posturilor de transformare.

3.4. Numărul deosebit de mare de variante posibile în fiecare din treptele ansamblului rețelei, de la alimentarea din sistem pînă la joasă tensiune, la care se adaugă multitudinea de combinații posibile între variantele diverselor trepte, impune anumite limitări în studierea acestei probleme, în sensul simplificării ei. Aceste limitări sînt reflectate în punerea concretă a problemei de la caz la caz și în eliminarea uneia sau alteia dintre posibilitățile teoretice, în funcție de condițiile particulare întîlnite.

În anexa 1 se prezintă un exemplu de algoritm pentru calculul valorilor economice care intervin într-o singură etapă de electrificare a unui oraș. Exemplul citat, fără a pretinde generalitate deplină, este totuși ilustrativ pentru posibilitățile deschise combinării tehnicii calculatoarelor cu programarea dinamică.

4. Informații necesare

Preliminarea dezvoltării unei rețele electrice urbane pe o perioadă cît mai lungă impune neapărat existența unor informații atît de natură energetică, cît și de natură extraenergetică. Printre acestea sînt necesare :

4.1. Informații referitoare la modul de delimitare și sistematizare urbanistică a zonei orașului studiat. Aceste elemente creează cadrul pentru delimitarea spațiilor afectate construcțiilor de locuințe, a zonelor din oraș cu diverse densități de populație, a zonelor afectate în scopuri publice (spații comerciale, utilități social-culturale etc.).

4.2. Informații (chiar orientative) referitoare la prevederile de evoluție a populației urbane. Fiind în fond vorba de o mărime aleatorie, este de dorit ca informațiile să se prezinte într-o formă corespunzătoare : repartiția probabilităților diverselor valori ale populației de așteptat la un moment dat.

În figura 3 este prezentată o asemenea funcție a probabilităților în ipoteză de normalitate. Din această figură se poate vedea, de exemplu, că în momentul considerat probabilitatea ca populația orașului să depășească 471 mii locuitori este de circa 5%, iar probabilitatea ca populația să se cifreze la 400—440 mii locuitori este de circa 51,5%.

O simplificare a punerii acestei probleme este cea în care distribuția probabilităților este înlocuită printr-o singură valoare (implicit considerată ca avînd probabilitatea evenimentului sigur).

4.3. Informații referitoare la prevederile de evoluție a unor elemente ale nivelului de trai al populației, cu referire specială la :

— evoluția numărului de persoane într-o gospodărie casnică medie (denumită, în cele ce urmează, abonat) ;

— evoluția consumului de energie electrică edilitar și casnic per locuitor al zonei urbane ;

— caracteristicile energetice (durate de utilizare, puteri) ale consumului edilitar și casnic de energie electrică pe total și defalcat pe categorii ale acestuia (consum casnic, iluminat și utilizări generale, iluminat public, transport în comun etc.), eventuala evoluție a acestor caracteristici ;

— perspectivele de dezvoltare a consumului altor resurse energetice în orașul considerat.

Deși toate elementele citate la acest punct sînt mărimi aleatorii care pot fi prezentate ca atare, se consideră satisfăcătoare și prezentarea lor simplificată sub formă de valori unice.

4.4. Informații privitoare la situația existentă a alimentării cu energie electrică, în momentul considerat drept punct de plecare al calculului. Aici se includ toate informațiile asupra instalațiilor existente și caracteristicilor lor (parametri, grad de uzură, siguranță în

funcţionare etc.), precum şi informaţii privind posibilităţile de a trece instalaţiile existente în total sau în parte la tensiuni superioare de funcţionare, informaţii privind modernizările pe care anumite instalaţii le necesită în orice caz (pentru a fi puse în concordanţă cu prevederile actelor normative) etc.

4.5. Informaţii cu privire la:

— preţurile diverselor tipuri de echipamente care pot fi luate în considerare pentru dotarea în perspectivă a reţelei;

— variaţiile de aşteptat ale preţurilor acestor instalaţii;

— elementele de cost ale pierderilor de putere şi energie electrică din reţele şi variaţia acestora în timp.

4.6. Informaţii de conjunctură comercial-economică referitoare la posibilităţile de procurare a sortimentelor de echipament prevăzute ca necesare în perspectivă în diverse soluţii.

4.7. Bazarea studiului de sistematizare a reţelelor electrice urbane pe un volum de informaţii culese în prezent atrage după sine necesitatea revizuirii şi actualizării studiului în mod periodic, la intervale determinate (4—5 ani), pe măsura apariţiei de informaţii noi, suplimentare, sau a precizării informaţiilor existente. Prin aceasta se urmăreşte adaptarea continuă la realitate a soluţiilor propuse.

Acumularea în timp a unui bagaj de cunoştinţe asupra modului de dezvoltare a reţelelor va permite probabil în viitor introducerea de perfecţionări în sensul autoadaptării programului. Trebuie remarcat că această cerinţă coincide în mod avantajos cu faptul că soluţiile furnizate prin programare servesc luării unor decizii care stabilesc evoluţia reţelei în viitorul apropiat, dar care trebuie să ţină seama de necesitatea de a se încadra în soluţia optimală de perspectivă.

5. Consumul — variabilă aleatorie

5.1. Din tratarea informaţiilor menţionate rezultă în primul rînd prevederea consumului de energie şi putere electrică de aşteptat pentru oraşul studiat. Este de dorit ca previziunea să apară sub formă probabilistică; această formă poate fi aproximată prin împărţirea întregului domeniu în cîteva zone pentru care să rezulte valori caracteristice ale consumului de aşteptat şi probabilitatea respectivă (fig. 4). Se obţin astfel cîteva valori de consum preliminat caracterizate prin probabilităţi de apariţie.

5.2. Drept valori caracteristice ale consumului de aşteptat ar putea fi alese: valoarea medie din interval, valoarea-limită maximă, mediana etc. Întrucît de valoarea consumului considerat depinde puterea vehiculată şi deci dimensionarea reţelelor, se consideră oportun a alege anumite valori de consum caracterizate prin probabilitatea de a nu fi depăşite. Dacă întregul cîmp de distribuţie a probabilităţilor se fracţionează în zone, fiecărei zone îi corespunde o probabilitate ca valoarea consumului să se afle în interiorul acesteia. Pentru o zonă delimitată de valorile de consum x_a, x_b, dacă

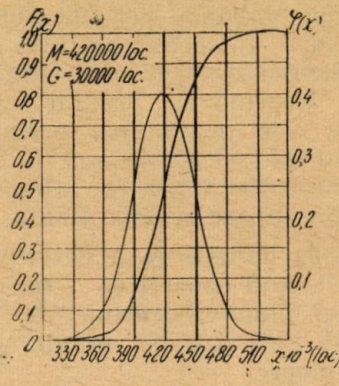


Fig. 3

se consideră ca lege de distribuţie a probabilităţilor distribuţia normală, se obţine:

$$P(x_a \leqslant x \leqslant x_b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} \int_{x_a}^{x_b} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}} \cdot dx.$$

Acestei valori ar urma să i se ataşeze valoarea-limită a variabilei, şi anume x_b, probabilitatea de nedepăşire a acesteia fiind:

$$P(x \leqslant x_b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} \int_{-\infty}^{x_b} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}} \cdot dx,$$

sau, ceea ce este acelaşi lucru, suma probabilităţilor tuturor zonelor aflate la stînga lui x_b.

Drept limită a ultimei zone trebuie considerată o valoare de consum maxim, $x_{b\,max}$, care să corespundă probabilităţii:

$$P(x \leqslant x_{b\,max}) \geqslant \alpha,$$

în care α se alege din considerente de acceptare a unui risc de depăşire a consumului faţă de cel preliminat. Se recomandă, în general:

$$\alpha = 0{,}9 \div 0{,}98.$$

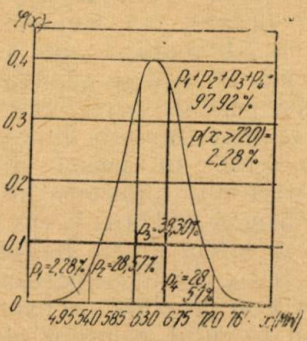


Fig. 4

Ca urmare suma tuturor probabilităţilor zonelor considerate va fi nu evenimentul sigur, ci acest eveniment mai puţin riscul de depăşire

La limită, dacă se consideră o singură zonă în cîmpul de distribuţie a probabilităţilor, aceasta va avea probablitatea α, iar limita maximă a variabilei $x_{b\,max}$ va fi determinată după aceeaşi relaţie de mai sus. În acest caz, această unică valoare a consumului de aşteptat poate fi în primă aproximaţie tratată ca eveniment sigur (făcînd deci abstracţie de riscul de depăşire). Acesta este în fapt cazul cu calculele ce se efectuează pe baza metodelor cunoscute în prezent.

În anexa 2 se prezintă un calcul simplificat pentru stabilirea, pe baza unor ipoteze definite, a cîtorva variante de consum de luat în considerare după această schemă.

Dacă s-ar renunţa în cele de mai sus la ataşarea de probabilităţi valorilor de consum considerate pentru un moment dat (ceea ce nu poate fi în nici un caz recomandat), s-ar obţine un număr de „variante diferite de consum" pentru oraşul şi momentul considerate.

6. Desfăşurarea calculelor

6.1. Calculul costurilor de tranziţie de la o etapă la etapa următoare trebuie să aibă loc ţinînd seamă de condiţiile particulare specifice oraşului studiat. În acest scop, după determinarea consumului total pe oraş, acest consum se defalcă pe zone urbane cu densitate variabilă şi apoi se alocă zonelor concrete din oraş prin intermediul unor metode de simulare (Monte Carlo).

Presupunînd, în acest mod, că sînt cunoscute consumul şi repartiţia sa teritorială şi volumul instalaţiilor existente în etapa anterioară, se poate determina cantitatea suplimentară de instalaţii necesară pentru a se face faţă tranziţiei.

Evaluarea economică a acestor instalaţii, inclusiv costurile de exploatare, întreţinere etc., permite calculul costului total al tranziţiei. Aceste calcule se efectuează din aproape în aproape, majoritatea pe calculatoare, în baza unor algoritme care ţin seama de multipli parametri.

Este de menţionat faptul că tranziţiile prin completări de instalaţii pot avea loc cu utilizarea unei game largi de echipamente (cabluri de diverse secţiuni, puncte de injecţie de puteri diferite, cu numărul de transformatoare variabil, scheme diferite de racordare a posturilor de transformare la punctele de injecţie etc.). Luarea cît mai completă în considerare a acestei diversităţi posibile şi a etapizării pe durate scurte (anual, de exemplu) nu este imaginabilă pe căi clasice, cu calcularea separată a desfăşurării fiecărei variante pe durata dezvoltării previzibile (20—30 ani), ci numai prin intermediul programării dinamice.

Calculele se efectuează ţinînd seamă de nesimultaneitatea cheltuielilor, prin metoda actualizării — raportarea tuturor cheltuielilor la anul de bază.

6.2. În esenţă, schema etapelor de desfăşurare a calculelor este următoarea:

a) Colectarea informaţiilor de bază necesare studiului.

b) Stabilirea etapelor de analiză şi evaluarea nivelului de consum pentru fiecare etapă.

c) Determinarea parametrilor fiecăreia dintre variantele luate în considerare, pentru fiecare etapă de calcul; calculul tuturor costurilor de tranziţie actualizate.

d) Determinarea prin programare dinamică a soluţiei optimale în condiţiile date.

Totodată se stabileşte şi ordinea altor k soluţii cu economicitate descrescătoare (soluţiile penoptime, k-optimale).

e) Analiza rezultatelor obţinute şi stabilirea pe baze decizionale a soluţiei de adoptat pentru perioada imediat următoare.

ANEXA 1

Calculul unei etape din dezvoltarea electrificării unui oraş

1. Se cunosc:
1.1. instalaţiile energetice existente;
1.2. consumul de energie electrică prevăzut;

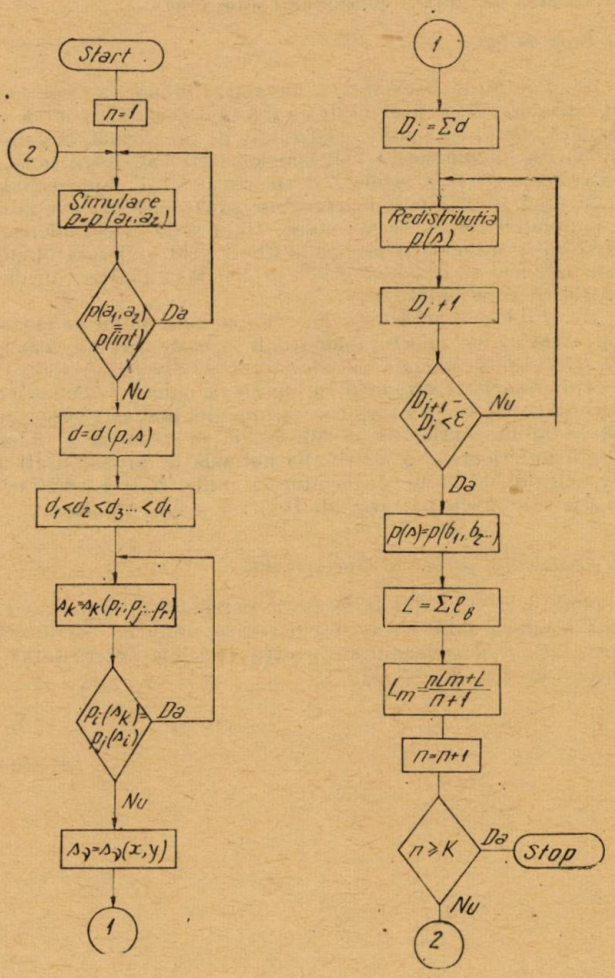


Fig. 5

1.3. consumul ce revine unui pătrat cu sarcină;
1.4. zonele „permise" în limitele oraşului şi cele „interzise" (în care nu pot fi amplasaţi consumatori casnici sau edilitari);
1.5. zonele cu densităţi de consum diferite.
2. Se alege varianta ce urmează a fi calculată:
2.1. schema de alimentare şi de distribuţie;
2.2. puterea nominală a staţiilor de alimentare;
2.3. tensiunile nominale de alimentare şi de distribuţie;
2.4. secţiunile liniilor de distribuţie.
3. Se efectuează calculele:
3.1. din 1.2 şi 1.3 rezultă numărul pătratelor cu sarcină;
3.2. din 1.2 combinat cu 2.1 (rezervele necesitate de schema aleasă) şi din 2.2 rezultă numărul total al staţiilor necesare şi deci numărul de staţii noi;
3.3. din 2.1., 2.2 şi 2.4 rezultă numărul de plecări pentru fiecare staţie şi numărul de pătrate cu sarcină ce se alocă fiecărei plecări dintr-o staţie de alimentare;
3.4. pe baza unui program adecvat (a cărui schemă logică este prezentată în figura 5) se calculează lungimea de aşteptat pentru reţea, la secţiunea aleasă;
3.5. stabilirea lungimii reţelei şi a tuturor celorlalţi parametri permite evaluarea economică a tuturor elementelor constitutive ale suplimentului de instalaţii necesar etapei calculate. Această evaluare se realizează printr-un program de calcul adecvat, care aduce totodată la echivalenţă cheltuielile efectuate în momente diferite (nesimultane).

Evaluările astfel obţinute reprezintă costurile unei anumite tranziţii, putînd fi cu acest titlu integrate în programul de programare dinamică discretă.

ANEXA 2

Prevederea dezvoltării consumului unui oraş

1. *Date de bază*

1.1. Prevederi de evoluţie a populaţiei urbane. Se vor lua în considerare cele prezentate în figura 3 (valabile pentru o singură etapă), şi anume: distribuţie de tip normal, populaţia medie preliminată — 420 000 locuitori; abaterea medie pătratică — 30 000 locuitori (sau circa 7,1% din medie).

În mod similar pot fi prezentate prevederile de evoluţie a populaţiei pentru oricîte etape. Dacă se ia în considerare distribuţia normală a probabilităţilor, pentru fiecare etapă este suficient să se indice media probabilă şi abaterea medie pătratică corespunzătoare.

1.2. Prevederi referitoare la evoluţia consumului pe locuitor. Acestea fac obiectul unor studii separate care ţin seama de necesarul de energie electrică total, de diverşii coeficienţi de simultaneitate care apar ca funcţie de numărul abonaţilor racordaţi etc. Pentru scopurile exemplului luat este suficient să se ia în considerare — sub formă de rezultat al unor studii anterioare — o distribuţie normală de probabilităţi a necesarului de putere pe locuitor, cu media $M = 1{,}5$ kW/loc. şi abaterea medie pătratică de 10%: $\sigma = 0{,}15$ kW/loc.

2. *Distribuţia probabilităţilor rezultate*

Notînd cu X variabila aleatorie populaţie şi cu Y variabila aleatorie putere specifică necesară, obţinem distribuţia densităţilor de probabilitate pentru variabila putere totală, notată cu Z: $Z = X \cdot Y$.

Întrucît cele două variabile aleatorii iniţiale sînt independente, rezultă [3], [4], în ceea ce priveşte densităţile de repartiţie:

$$\varphi(x, y) = \varphi(x) \cdot \varphi(y),$$

reprezentînd densitatea probabilităţii ca variabilele aleatorii X şi Y să ia simultan valorile x şi, respectiv, y.

Cum repartiţiile variabilelor X şi Y se cunosc (sînt presupuse normale), rezultă:

$$\varphi(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x \sigma_y} \exp\left\{-\left[\frac{(x-M_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-M_y)^2}{2\sigma_y^2}\right]\right\}.$$

În acelaşi timp, funcţia de probabilitate a variabilei bidimensionale, în care variabilele sînt independente, este:

$$F(x, y) = F(x) \cdot F(y) = \iint \varphi(x, y)\, dx \cdot dy = \int_{-\infty}^{x} \varphi(x)\, dx \cdot \int_{-\infty}^{y} \varphi(y) \cdot dy,$$

iar media variabilei aleatorii, $Z = X \cdot Y$, ţinînd seamă de independenţa variabilelor, este:

$$M_z = M_x \cdot M_y.$$

Pe baza relaţiilor de mai sus se obţine următorul tabel de valori ale funcţiei $F(xy) = P(z < xy)$:

$Z = xy$, MW	576	630	685	743	865	930
$F(xy)$, %	9,52	25,0	47,8	70,9	95,5	98,7
$p_i(xy)$, %	9,52	15,48	22,8	23,1	24,6	3,2

$$P(xy > 930) = 1{,}3\%.$$

Acestea sînt puterile Z şi probabilităţile p ataşate lor, care urmează a fi luate în considerare în calculele următoare.

Bibliografie

[1] Tarnavschi, Ş. *Dezvoltarea reţelelor urbane de înaltă şi medie tensiune.* Energetica nr. 8, 1970.
[2] Bellman, R. E. şi Dreyfus, S. E. *Programarea dinamică aplicată.* Editura tehnică, Bucureşti, 1967.
[3] Kaufman, A. *Metode şi modele ale cercetării operaţionale.* Vol. II, Editura ştiinţifică, Bucureşti, 1967.
[4] Schmock, E. şi Blümel, D. *Enfahrungen bei der dinamischen Planung electrischer Übertragungsnetze auf Digitalrechnern.* Energie technik, 18, nr. 12, 1968.
[5] Rothman, A. *Ameliorarea algoritmului de programare dinamică discretă S-optimală. Aplicaţie la planificarea reţelelor electrice.* Energetica nr. 10, 1970.
[6] Dunin-Barkovski, I. V. şi Smirnov, N. V. *Teoria probabilităţilor şi statistica matematică în tehnică.* Traducere din limba rusă. Academia R.P.R., Institutul de studii româno-sovietic.
[7] Gnedenko, B. V. *Curs de teoria probabilităţilor* (în limba rusă).

(Articol intrat în redacţie la 3 iulie 1970)

Calcule operative de dispecer pentru verificarea siguranței de funcționare a sistemului energetic. Simularea pe calculator a efectelor manevrelor în rețeaua de înaltă tensiune

C. Bunea, M. Duma și Al. Petroianu*)

1. Prezentarea generală a problemei

Activitatea dispecerului de tură se desfășoară în dinamica extrem de rapidă a evenimentelor din sistem, sub impulsul cărora el trebuie să-și restructureze rapid raționamentele, să-și adapteze permanent soluțiile la informațiile nou apărute și să ia decizii de mare răspundere în condiții de deficit acut de timp. Aceste condiții specifice în care se desfășoară comanda prin dispecer a sistemelor energetice fac deosebit de actuală problema determinării rapide a efectelor manevrelor de rețea [1], [2], [3].

Problema determinării variației parametrilor regimului staționar de funcționare a sistemului energetic ca urmare a unei modificări survenite în rețea a fost tratată în literatura de specialitate folosindu-se tehnici variate de calcul, dintre care menționăm:

— metoda Newton [4];

— calcule simplificatoare de regim în aproximația „curent continuu" [5];

— metoda coeficienților de repartiție [6];

— metode nodale cu utilizarea matricei impedanțelor proprii și mutuale și a unor procedee de recalculare rapidă a acesteia cu formula lui Woodbury [7], [8];

— metode bazate pe teorema compensației [9], [10], [11].

Sînt de remarcat preocupările care au existat în acest domeniu în cadrul Institutului de energetică al Academiei R.S.R. [12].

În activitatea operativă de dispecer apar mai frecvent următoarele tipuri de manevre și modificări de regim:

— deconectarea unei linii sau deconectarea succesivă a mai multor linii;

— conectarea unei linii;

— modificarea injecției de putere într-un nod sau în mai multe noduri succesiv.

Informațiile pe care Dispecerul energetic național (DEN) le are la dispoziție, cu actuala dotare tehnică [13] — [18], se referă în principal la topologia rețelei, producțiile pe centrale, circulațiile de putere activă și reactivă pe linii și modulele tensiunilor în noduri. În aceste condiții este deosebit de important pentru activitatea dispecerului de tură și pentru siguranța de funcționare a sistemului să se poată predetermina rapid modul în care se vor modifica parametrii regimului de funcționare și în special circulațiile la efectuarea manevrelor programate.

Pînă de curînd aceasta se realiza prin calcule predictive de regimuri staționare, care însă impun un volum important de muncă manuală, necesită durate mari de timp-mașină și nu pot corespunde în suficientă măsură condițiilor operative premergătoare manevrelor.

O dată cu extinderea calculatorului ICL 4120 cu: patru derulatoare de bandă magnetică de 33 kcar/s, ce reprezintă o capacitate a memoriei externe de circa 16×10^6 cuvinte; al doilea lector de 1000 car/s și al doilea perforator de 110 car/s; o imprimantă rapidă de 1200 linii/min; un controller pentru multiplul acces la calculator de la mai multe terminale de tip teleimprimator și o consolă cu un periferic de introducere-extragere a informațiilor situată în imediata vecinătate a dispecerului de tură, au fost create condiții pentru perfecționarea comenzii prin dispecer a sistemului energetic prin atribuirea calculatorului a unei funcții de consultant operativ al dispecerului de tură.

Lucrarea de față tratează preocupările actuale din cadrul Direcției sistemului energetic de a aborda problema predeterminării rapide a modificărilor parametrilor de regim ce survin la manevre operative la nivelul noii dotări tehnice. Această nouă abordare implică transferul minim de informații și un mod „conversațional" de lucru dispecer/calculator, prelucrarea informațiilor cu un grad de precizie adecvat necesităților reale operative, o formulare matricială ce permite obținerea rezultatelor în timpi de calcul care corespund unei tratări în „timp real" a problemei. Modul de utilizare a calculatorului ICL 4120, cu rol de consultant operativ în problemele de verificare a siguranței de funcționare și de încadrare în actuala dotare tehnică a Dispecerului energetic național, este ilustrat simbolic în figura 1.

2. Algoritmul de calcul

2.1. *Ipoteze simplificative*

Spre deosebire de alte abordări similare [8], în actuala metodologie nu sînt considerate sarcinile (producțiile), modelul matematic al sistemului electroenergetic simulînd numai re-

*) Autorii lucrează în cadrul D.S.E., la Serviciul analiză-programare. Cecilia Bunea este inginer principal, Maria Duma este matematician, iar dr. ing. Alexandru Petroianu este șeful serviciului.

țeaua de transport de înaltă tensiune. Este adoptată ipoteza simplificatoare că o modificare a structurii rețelei, deși conduce la variații

2.2. *Modelul matematic*

Modelul matematic al rețelei este constituit de matricea nodală $[Z]$ a impedanțelor proprii

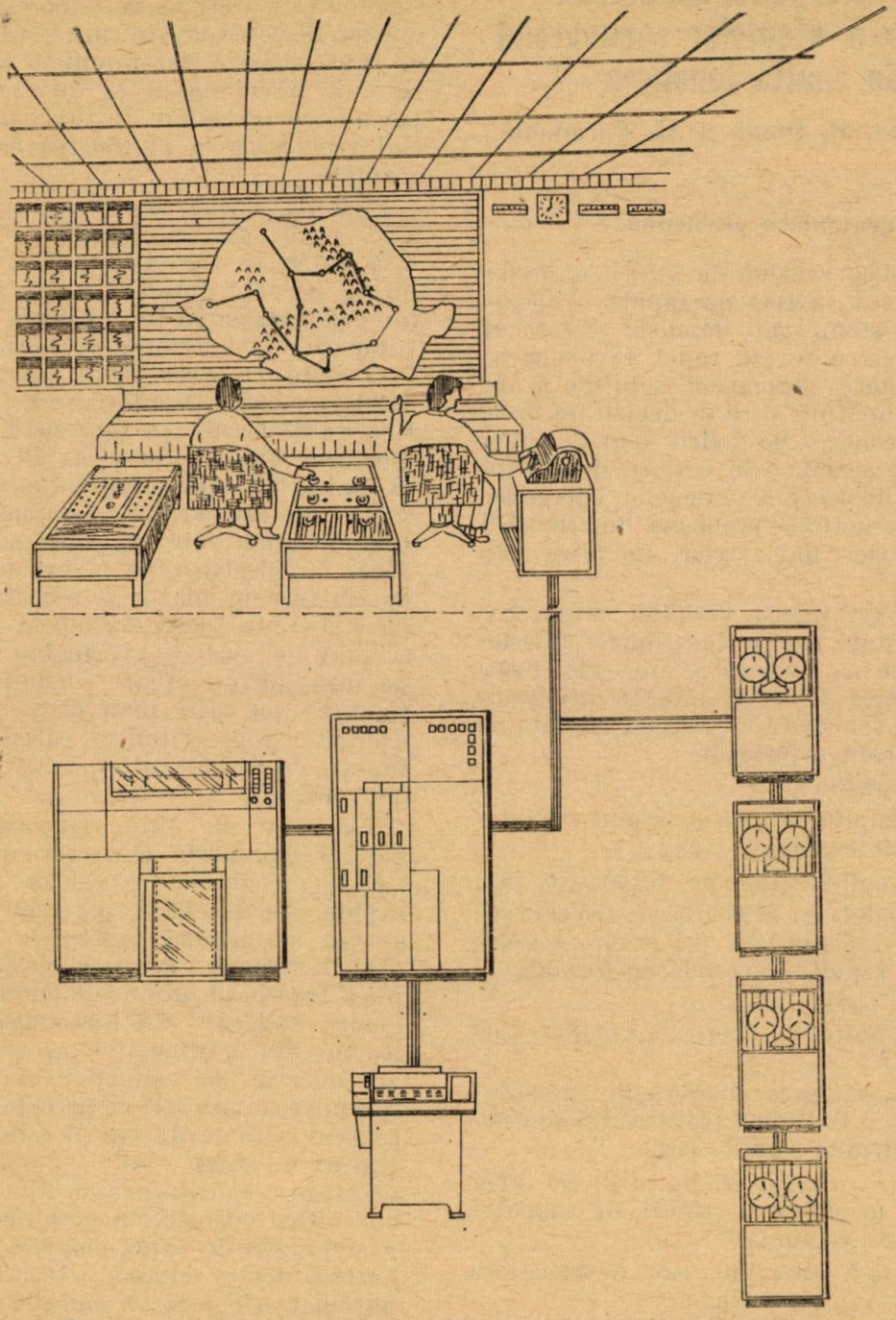


Fig. 1. Utilizarea calculatorului electronic cifric cu rol de consultant operativ în problemele de verificare a siguranței de funcționare a sistemului energetic național.

ale tensiunilor nodale, nu modifică consumurile sau producțiile în sistem.

Tensiunile în program sînt introduse sub formă de modul, aceasta corespunzînd actualelor posibilități de informare ale personalului operativ cu aparatajul de telemecanică și telemăsură existent.

și mutuale, obținută printr-o metodă constructivă descrisă în lucrări anterioare [19], [20].

Printr-o transformare congruentă se obține matricea $[\xi]$ a impedanțelor de transfer între perechi de noduri (porți) [21], denumită și matrice a impedanțelor de transfer cvadripolare [5]:

$$[\xi] = [C]\,[Z]\,[C]^T. \qquad (1)$$

Deoarece matricea $[\xi]$ este mai puțin utilizată în calculele de rețele, precizăm sensul fizic al elementelor sale:

— dacă se injectează un curent unitar în nodul k, prelevat prin nodul l, atunci între nodurile i și j apare diferența de potențial:

$$V_i - V_j = (Z_{ik} - Z_{il}) - (Z_{jk} - Z_{jl}) = \xi_{ij,kl}; \quad (2)$$

— în ceea ce privește elementul diagonal $\xi_{ij,ij}$, acesta reprezintă impedanța galvanică a ansamblului rețelei, măsurată între nodurile i și j; pentru determinarea elementului diagonal s-a folosit o formulă trinomială simplă:

$$\xi_{ij,ij} = Z_{ii} - 2 * Z_{ij} + Z_{jj}. \quad (3)$$

Figura 2 ilustrează „distanțele" în ohmi între cîteva noduri mai importante ale rețelei de înaltă tensiune, considerată cu 50 noduri.

Elementele diagonale $\xi_{ij,ij}$ ale matricei de transfer cvadripolară se pot aranja într-o matrice nodală (m_{ij}) a „distanțelor" electrice, în care:

— $m_{ii} = 0$ (ca urmare a acestei caracteristici matricea $[m_{ji}]$ este denumită în literatura de specialitate ca matrice de impedanță „nul axială" [22]);

— $m_{ij} > 0 (m_{ij} \equiv \xi_{ij,ij})$.

Matricea $[m_{ij}]$ satisface inegalitatea

$$m_{ij} + m_{ik} \geqslant m_{jk}. \quad (4)$$

Importanța studierii acestei matrice în analiza rețelelor electrice constă în aceea că permite partiționarea nodurilor în subclase, echivalente din punct de vedere electric, denumite „clici".

Această problemă a simplificărilor și echivalărilor unor porțiuni de rețea introduce concepte noi ale teoriei grafelor, cum sînt cele de „rază" sau de „grosime" ale grafului [23], [24] și a făcut obiectul unor studii interesante în cadrul EdF [25].

În calculele efectuate s-au folosit numai acele elemente $m_{ij} \equiv \xi_{ij,ij}$, care corespund nodurilor ce mărginesc liniile pe care au loc manevrele de comutație.

Metoda constituie o aplicație, într-o formă generalizată, a teoremei lui Thévenin pentru determinarea unui regim incremental în raport cu regimul de bază cunoscut.

Manevrele de sistem, care conduc la apariția unui regim incremental, pot fi de următoarele tipuri:

— deconectarea unei linii;
— conectarea unei linii;
— modificarea producției de putere în noduri.

2.3. *Regimul incremental produs de deconectarea unei linii*

Efectul deconectării liniei p-q poate fi simulat printr-o injecție suplimentară de curenți [26]:

$$[\Delta I] = [C^{pq}] * I^{pq} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ +1 \\ \vdots \\ -1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ p \\ \\ q \\ \\ \end{matrix} * I^{pq} \quad (5)$$

Această injecție se aplică rețelei cu linia p-q deconectată. Modelul matematic al rețelei este reprezentat de matricea nodală $[Z']$. Vectorul variațiilor de tensiune ca urmare a deconectării liniei p-q se obține din expresia:

$$[Z'] * [\Delta I] = [Z'] * [C^{pq}] * I^{pq} =$$

$$= \begin{bmatrix} Z'_{1p} - Z'_{1q} \\ \vdots \\ Z'_{ip} - Z'_{iq} \\ Z'_{np} - Z'_{nq} \end{bmatrix} * I^{pq} = [\Delta V]. \quad (6)$$

Calculul conform relației (6) implică determinarea matricei nodale $[Z']$ pentru configurația rețelei cu linia p-q deconectată, conform unei formule laborioase:

$$[Z'] = [Z] - [Z]\,[C^{pq}]\,\{(-z_{pq}) + [C^{pq}]^T\,[Z]\,[C^{pq}]\}^{-1}\,[C^{pq}]\,[Z]. \quad (7)$$

Pentru determinarea vectorului variațiilor de tensiune, în lucrare s-a utilizat o relație de calcul (8):

$$[\Delta V] = \begin{bmatrix} Z_{1p} - Z_{1q} \\ \vdots \\ Z_{ip} - Z_{iq} \\ \vdots \\ Z_{np} - Z_{nq} \end{bmatrix} * \frac{z_{pq}}{z_{pq} - \xi_{pq,pq}} * I^{pq}, \quad (8)$$

care prezintă următoarele avantaje:

— nu necesită calculul matricei nodale $[Z']$;

— utilizează diferența a două coloane ale matricei nodale $[Z]$ corespunzătoare schemei normale de conexiuni și care se poate calcula o singură dată:

— utilizează impedanța de transfer $\xi_{pq,pq}$, care constituie [vezi relația (3)] o funcție simplă de matricea $[Z]$;

— utilizează valoarea impedanței liniei care se deconectează;

— utilizează curentul nemijlocit măsurat pe linia p-q înainte de manevră.

2.3.1. *Demonstrație.* Formulele (6) și (8) sînt echivalente dacă :

$$\begin{bmatrix} Z'_{1p} - Z'_{1i} \\ \vdots \\ Z'_{ip} - Z'_{iq} \\ \vdots \\ Z'_{np} - Z'_{nq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{1p} - Z_{1q} \\ \vdots \\ Z_{ip} - Z_{iq} \\ \vdots \\ Z_{np} - Z_{nq} \end{bmatrix} * \frac{z_{pq}}{z_{pq} - \xi_{pq,pq}}, \quad (9)$$

ceea ce este echivalent cu verificarea egalității :

$$(Z'_{ip} - Z'_{iq}) = (Z_{ip} - Z_{iq}) * \frac{z_{pq}}{z_{pq} - \xi_{pq,pq}} \quad (10)$$

pentru $i = 1, 2, \ldots, n$.

Deconectarea liniei p-q de impedanță z_{pq} este echivalentă cu conectarea în paralel a unei linii de impedanță $(-z_{pq})$.

Ca urmare a conectării unei corzi de impedanță $(-z_{pq})$, matricea nodală a impedanțelor proprii și mutuale își modifică elementele [27] astfel :

$$Z'_{ip} = Z_{ip} - \frac{Z_{iL}Z_{Lp}}{Z_{LL}}; \quad (11)$$

$$Z'_{iq} = Z_{iq} - \frac{Z_{iL}Z_{Lq}}{Z_{LL}}, \quad (12)$$

în care :

$$Z_{iL} = Z_{ip} - Z_{iq}; \quad (13)$$

$$Z_{Lp} = Z_{pp} - Z_{pq}; \quad (14)$$

$$Z_{Lq} = Z_{pq} - Z_{qq}; \quad (15)$$

$$Z_{LL} = Z_{Lp} - Z_{Lq} + (-z_{pq}) = (Z_{pp} - Z_{pq}) - (Z_{pq} - Z_{qq}) + (-z_{pq}) = (-z_{pq}) + Z_{pp} - 2 * Z_{pq} + Z_{qq} = (-z_{pq}) + \xi_{pq,pq}. \quad (16)$$

Făcînd diferența dintre relațiile (11) și (12), se obține :

$$Z'_{ip} - Z'_{iq} = Z_{ip} - Z_{iq} - \frac{Z_{iL}}{Z_{LL}} * (Z_{Lp} - Z_{Lq}); \quad (17)$$

$$Z_{Lp} - Z_{Lq} = Z_{pp} - Z_{pq} - Z_{pq} + Z_{qq} = Z_{pp} - 2 * Z_{pq} + Z_{qq} = \xi_{pq,pq}. \quad (18)$$

Înlocuind relațiile (13), (16) și (18) în relația (17), se obține :

$$Z'_{ip} - Z'_{iq} = Z_{ip} - Z_{iq} - \frac{(Z_{ip} - Z_{iq}) * \xi_{pq,pq}}{(-z_{pq}) + \xi_{pq,pq}} =$$

$$= (Z_{ip} - Z_{iq}) \left(1 - \frac{\xi_{pq,pq}}{(-z_{pq}) + \xi_{pq,pq}}\right) =$$

$$= (Z_{ip} - Z_{iq}) * \frac{(-z_{pq}) + \xi_{pq,pq} - \xi_{pq,pq}}{(-z_{pq}) + \xi_{pq,pq}} =$$

$$= (Z_{ip} - Z_{iq}) * \frac{z_{pq}}{z_{pq} - \xi_{pq,pq}}, \quad (18')$$

q.e.d.

Formula (8) permite determinarea variației circulației de curent pe linia r-s (linie în supraveghere), ca urmare a deconectării liniei p-q :

$$\Delta I^{rs} = \frac{V_r - V_s}{z_{rs}}. \quad (19)$$

Efectuînd substituirile corespunzătoare în relația (10), se obține :

$$\Delta I^{rs} = \frac{Z_{rp} - Z_{rq} - Z_{sp} + Z_{sq}}{z_{rs}} * \frac{z_{pq}}{z_{pq} - \xi_{pq,pq}} * I^{pq}. \quad (20)$$

2.4. *Regimul incremental produs de conectarea unei linii*

La conectarea unei linii p-q, valoarea curentului care se stabilește pe această linie, conform teoremei Thévenin, este dată de expresia :

$$I^{pq} = \frac{V_p - V_q}{z_{pq} + \xi_{pq,pq}}. \quad (21)$$

Comportarea rețelei, văzută dinspre bornele sale exterioare, la apariția curentului I^{pq}, poate fi simulată printr-o injecție suplimentară de curenți :

$$[\Delta I] = -[C^{pq}] * I^{pq} = - \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ +1 \\ \vdots \\ -1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ p \\ \\ q \\ \\ \\ \end{matrix} * I^{pq}. \quad (22)$$

Vectorul variațiilor de tensiune are expresia :

$$[\Delta V] = [Z] * [\Delta I] = -[Z][C^{pq}] * I^{pq} =$$

$$= - \begin{bmatrix} Z_{1p} - Z_{1q} \\ \vdots \\ Z_{ip} - Z_{iq} \\ \vdots \\ Z_{np} - Z_{nq} \end{bmatrix} * I^{pq} =$$

$$= - \begin{bmatrix} Z_{1p} - Z_{1q} \\ \vdots \\ Z_{ip} - Z_{iq} \\ \vdots \\ Z_{np} - Z_{nq} \end{bmatrix} * \frac{V_p - V_q}{z_{pq} + \xi_{pq,pq}}. \quad (23)$$

Dacă în relația (8), corespunzătoare manevrei de deconectare a liniei p-q, înlocuim expresia impedanței z_{pq} străbătută de curentul I^{pq} prin diferențele de tensiune la bornele p și q, obținem :

$$[\Delta V] = \begin{bmatrix} Z_{1p} - Z_{1q} \\ \vdots \\ Z_{ip} - Z_{iq} \\ \vdots \\ Z_{np} - Z_{nq} \end{bmatrix} * \frac{V_p - V_q}{z_{pq} - \xi_{pq,pq}}. \quad (8')$$

Se constată similitudinea expresiei (23) corespunzătoare conectării liniei p-q cu expresia (8'), corespunzătoare deconectării liniei p-q.

2.5. *Regimul incremental produs de variația sarcinii într-un nod*

Vectorul variațiilor de tensiune ce apar ca urmare a modificării injecției nodului i cu o valoare δI este exprimat prin relația:

$$[\Delta V] = \begin{bmatrix} Z_{11} \cdots Z_{1i} \cdots Z_{1n} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ Z_{k1} \cdots Z_{ki} \cdots Z_{kn} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ Z_{n1} \cdots Z_{ni} \cdots Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ \delta I \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \overset{i}{=} \begin{bmatrix} Z_{1i} \\ \vdots \\ Z_{ki} \\ \vdots \\ Z_{ni} \end{bmatrix} * \delta I. \tag{24}$$

Concluzii

Algoritmul și programul elaborat prezintă următoarele particularități:

— volum redus de informații introduse, ceea ce permite un mod „conversațional" de lucru operator/calculator;

— precizie de calcul corespunzătoare nivelului de informare în condiții operative și necesităților de apreciere de către dispecer a situațiilor critice;

— timp-mașină redus și volum pertinent de informații extrase, ceea ce permite o apropiere de rezolvarea în „timp real" a problemei siguranței de funcționare a sistemului energetic.

Experimentarea programului a evidențiat rezultate satisfăcătoare în ceea ce privește aprecierea variațiilor parametrilor de regim la deconectări de linii și modificări de injecții în noduri; în privința conectării liniilor, ca urmare a introducerii informațiilor privind tensiunile citite pe aparate numai prin modul, comparația cu calcule complete de regim indică erori mari.

Îmbunătățirile care se aduc în prezent programului sînt îndreptate în următoarele direcții:

— facilitarea transferului de informații operator/calculator prin indicarea geografică a nodurilor; din punct de vedere matematic, aceasta reprezintă o problemă dificilă de sortare a listelor alpha-numerice;

— extinderea modelului matematic la rețelele cu peste 100 de noduri prin utilizarea memoriei externe;

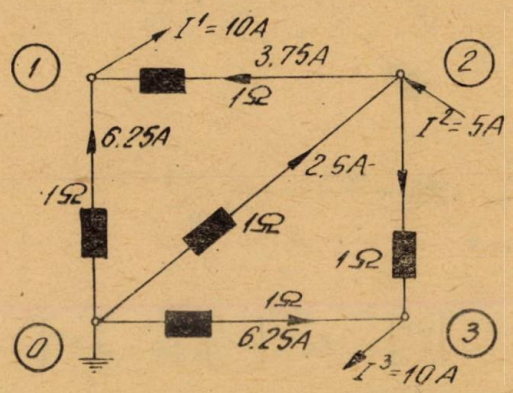
— mărirea preciziei de simulare a manevrelor de conectare a liniilor de înaltă tensiune.

Algoritmul și programul elaborat se încadrează în preocupările actuale ale Direcției Sistemului Energetic de a dezvolta un suport matematic corespunzător preluării de către calculatorul cifric a unor funcții noi de consultant operativ al dispecerului. Aceasta corespunde și unui efort propriu necesar de analiză și programare a problemelor de sistem în perspectiva dotării comenzii prin dispecer cu calculatoare cuplate la procesul de producere și transport al energiei electrice.

ANEXA 1

Exemplu de calcul pentru deconectarea unei linii

În rețeaua ale cărei schemă și regim normal sînt prezentate în figura 3, se determină regimul incremental produs de deconectarea liniei 2—3.



$$[Z] * [I] = [V]$$

$$\begin{bmatrix} .625 & .25 & .125 \\ .25 & .20 & .25 \\ .125 & .25 & .625 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -10 \\ 5 \\ -10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6.25 \\ -2.5 \\ -6.25 \end{bmatrix}$$

Fig. 3.

Conform relației (8) se determină vectorul variațiilor de tensiune:

$$[\Delta V] = \begin{bmatrix} Z_{12} - Z_{13} \\ Z_{22} - Z_{23} \\ Z_{32} - Z_{33} \end{bmatrix} * \frac{z_{23}}{z_{23} - \xi_{23,23}} * I^{23} =$$

$$= \begin{bmatrix} .25 - .125 \\ .50 - .25 \\ .25 - .625 \end{bmatrix} * \frac{1.0}{1.0 - .625} * 3.75 = \begin{bmatrix} 1.25 \\ 2.5 \\ -3.75 \end{bmatrix}$$

Conform relației (20) se determină variația circulației pe linia 1—2 ($r = 1$, $s = 2$, $p = 2$, $q = 3$):

$$\Delta I^{12} = \frac{z_{23}(Z_{12} - Z_{13} - Z_{22} + Z_{23})}{z_{12}(z_{23} - \xi_{23,23})} * I^{23} =$$

$$= \frac{1.0 * (.25 - .125 - .50 + .25)}{1.0 * (1.0 - .625)} * 3.75 = -1.25 \text{ A.}$$

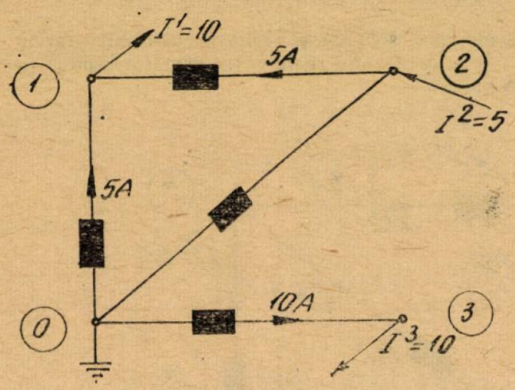
În figura 4 sînt reprezentate schema și regimul de funcționare ale rețelei cu linia 2—3 deconectată. Dacă suprapunem regimului inițial (fig. 3) regimul incremental calculat, regăsim regimul exact pentru noua configurație (fig. 4).

Într-adevăr:

$$[V'] = [V] + [\Delta V] =$$

$$= \begin{bmatrix} -6.25 \\ -2.5 \\ -6.25 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1.25 \\ 2.5 \\ -3.75 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5.0 \\ 0.0 \\ -10.0 \end{bmatrix};$$

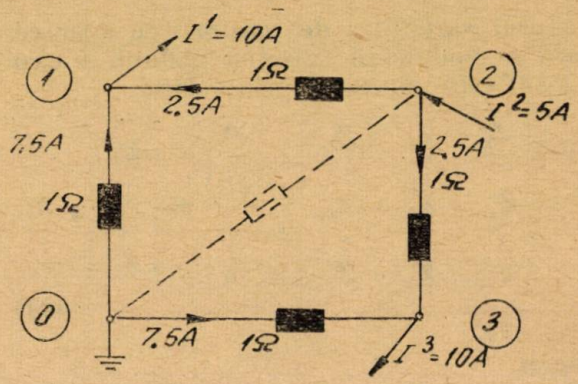
$$I^{12'} = I^{12} + \Delta I^{12} = -3.75 + (-1.25) = -5.0.$$



$$[Z'] * [I'] = [V']$$

.66	.33		-10	-5.
.33	.66		5	0.
		1	-10	-10

Fig. 4.



$$[Z] * [I] = [V]$$

.75	.50	.25	-10	-7.5
.50	1.0	.50	5	-5.0
.25	.50	.75	-10	-7.5

Fig. 5

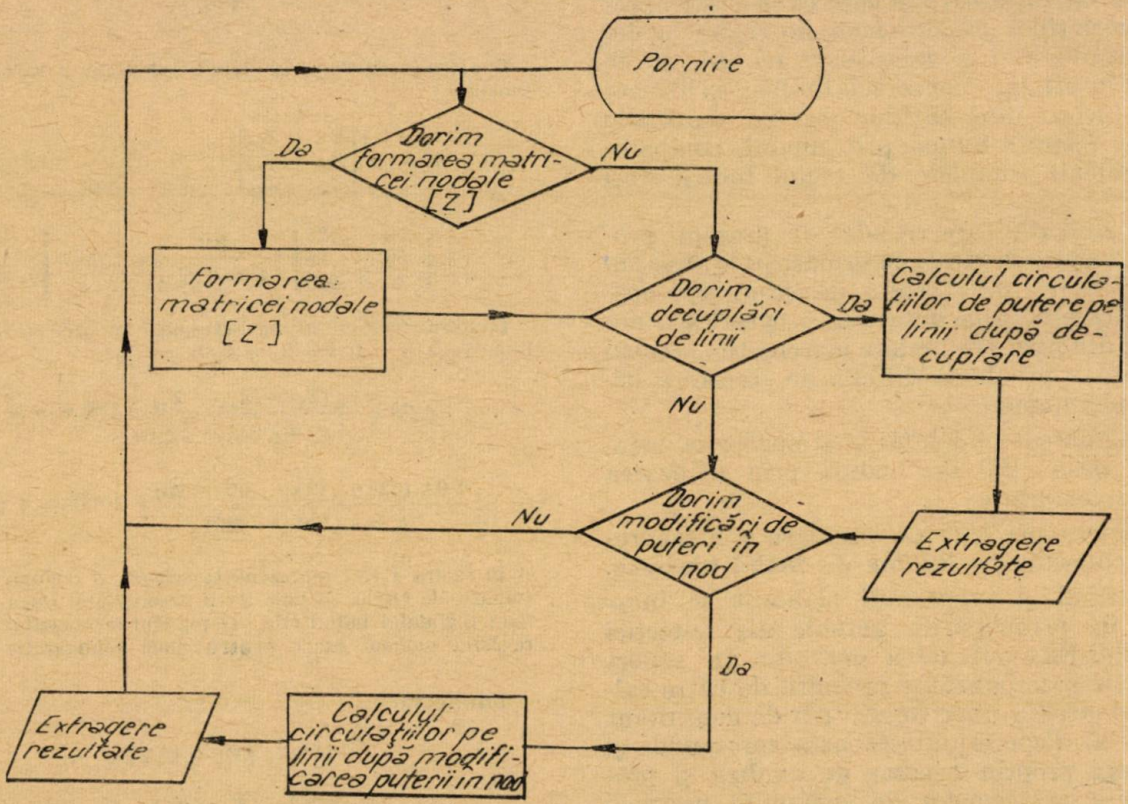


Fig. 6

ANEXA 2

Exemplu de calcul pentru conectarea unei linii

În rețeaua ale cărei schemă și regim normal sînt prezentate în figura 5, se determină regimul incremental produs de conectarea liniei 0—2. Conform relației (21) se determină curentul ce se va stabili prin ramura 0—2:

$$I^{02} = \frac{V_0 - V_2}{z_{02} + \xi_{02,02}} = \frac{0.0 - (-5.0)}{1.0 + 1.0} = 2.5 \text{ A.}$$

Conform relației (23) se determină vectorul variațiilor de tensiune:

$$[\Delta V] = -\begin{bmatrix} Z_{10} - Z_{12} \\ Z_{20} - Z_{22} \\ Z_{30} - Z_{32} \end{bmatrix} * I^{02} = -\begin{bmatrix} -.5 \\ -1.0 \\ -.5 \end{bmatrix} * 2.5 = \begin{bmatrix} 1.25 \\ 2.5 \\ 1.25 \end{bmatrix}$$

Suprapunînd cele două regimuri, regăsim regimul exact pentru noua configurație, regim reprezentat în figura 3:

$$[V'] = [V] + [\Delta V] = \begin{bmatrix} -7.5 \\ -5.0 \\ -7.5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1.25 \\ 2.5 \\ 1.25 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6.25 \\ -2.5 \\ -6.25 \end{bmatrix}$$

ANEXA 3

Scurtă descriere a programului „rețele"

Programul „rețele" este scris în limbaj ALGOL și ocupă aproximativ 2500 adrese, permițînd simularea manevrelor operative în rețele de maximum 75 noduri, ceea ce este deocamdată suficient pentru supravegherea celor mai importante linii de transport.

Programul se compune din următoarele secțiuni principale:

1. Calculul matricei nodale a impedanțelor proprii și mutuale.
2. Simularea manevrei de comutare a uneia sau, succesiv, a mai multor linii.
3. Simularea modificării injecției de putere într-unul sau, succesiv, în mai multe noduri.

Programul cuprinde o serie de proceduri de calcul, includerea cărora a mărit eficiența utilizării calculatorului.

Schema logică a programului este reprezentată în figura 6.

Informațiile introduse identifică linia deconectată, circulația acesteia înainte de manevră, liniile aflate în supraveghere, nodul și valoarea modificării de injecție; informațiile extrase se referă la variațiile de circulații pe liniile aflate în supraveghere.

Durata de calcul este neglijabilă în raport cu durata extragerii rezultatelor pe perifericul lent (15 car/s) conversațional. Timpul mediu de răspuns la o problemă este de circa 5—7 minute.

Bibliografie

[1] Mac Arthur, C. A. *Transmission Limitations Computed by Superposition.* AIEE Trans. PAS, vol. 80, dec. 1961, p. 27—31.

[2] El-Abiad, A. *Automatic Evaluation of Power System Performance. Effects of Line and Transformer Outages.* AIEE Trans. PAS, vol. 81, febr. 1963.

[3] Limmer, H. D. *Techniques and applications of security calculations applied to dispatching computers.* PSCC, 1969.

[4] *Power System Computer Feasibility Study.* Vol. I, IBM Research Division, San Jose, California, Ch. IV, Technical Feasibility of On-Line Load Flow Programs.

[5] Augé, M. *La matrice des impédances de transfert d'un réseau et ses applications.* Bull. Soc. Fr. Electriciens, nr. 16, 1961.

[6] Racz, L. *An analysis of electrical power systems on the D.C. Network analyser.* Periodica Polytechnica El. Engineering, vol. 6, nr. 3, 1962.

[7] Brewer, G. L. *The Computational Aspects of the CEGB New National Control Centre.* PSCC, Roma, 1969.

[8] Brown, H. E. *Contingencies Evaluated by a Z-Matrix method.* IEEE Trans. PAS, vol. 88, nr. 4, 1969.

[9] Preda, M. *Bazele electrotehnicii*, vol. II. Editura didactică și pedagogică, București, 1969.

[10] Polivanov, K. M. *Teoreticeskie osnovi elektrotehniki*, Vol. I, Energhiia, 1965.

[11] Edelmann, H. *Accelerated Calculation of Numerous Load Flows on Process Computers.* PSCC, Roma, 1969.

[12] Arie, E. *Analiza influenței injecțiilor de puteri și a reglajului tensiunilor nodale asupra circulației curenților într-o rețea electrică.* Academia R.S.R., Institutul de energetică, 1966.

[13] Vîlciu, Gr. *Dispecerul energetic național.* Energetica, nr. 8, 1967.

[14] Constantinescu, E., Feldman, Șt. și Marcu, S. *Noul centru de comandă al Dispecerului energetic național.* Energetica, nr. 8, 1967.

[15] Badea, I. A. și Spînu, A. *Reglarea automată frecvență-putere în sistemul energetic național.* Energetica, nr. 8, 1967.

[16] Romert, V. *Performanțele și problemele rezolvate cu calculatorul cifric din dotarea Direcției sistemului energetic.* Energetica, nr. 8, 1967.

[17] Boboc, A., Ioanin, D. și Straule, A. *Rețeaua de telecomunicații a Dispecerului energetic național din R. S. România.* Energetica, nr. 8, 1967.

[18] Isac, G., Marcu, S. și Perea, E. *Transmisii de telemecanică.* Energetica, nr. 8, 1967.

[19] Petroianu, Al. *O metodă topologică de determinare directă a matricei nodale a impedanțelor proprii și de transfer a rețelelor electrice.* Electrotehnica, nr. 10, 1967.

[20] Duma, M. și Petroianu, Al. *Programarea în limbaj ALGOL pe calculatorul Elliott 4120 al Dispecerului energetic național a unui algoritm de sinteză a matricei impedanțelor proprii și de transfer.* Energetica, nr. 4, 1967.

[21] Preda, M. și Cristea, P. *Analiza și sinteza circuitelor electrice.* Editura tehnică, 1968.

[22] Moore, D.J.H. *A geometrical theory for electrical networks. Theory and applications.* Thesis, 1968.

[23] Bondy, J. A. *On Kelly's congruence theorem for trees.* Proc. Cambridge Phill. Soc., 1969, nr. 65, 387.

[24] Hobbs, A.M și. Grossman, J. W. *Thickness and Connectivity in Graphs.* J. of Research Nat. Bur. Stand. B. Mathem. Sciences, vol. 72 B., nr. 3, 1968.

[25] Dodu, J. C., Ludot, J. P. și Pouget, J. *Sur le regroupement optimal des sommets dans un reseau electrique.* R.I.R.O., 3e année, nr. V-I, 1969.

[26] Laughton, M. A. și Humphrey, D. M. W. *Numerical techniques in solution of power-system load-flow problems.* Proc. IEE, vol. 111, nr. 9, 1964.

[27] El-Abiad, A. *Algorithms for direct computation and modification of solution (inverted) matrices of networks including mutual impedance.* PICA Conference, 1963.

(Articol intrat în redacție la 28 iulie 1970)

Condiții și criterii de siguranță pentru determinarea structurii rețelelor de distribuție urbană de medie tensiune

Ing. H. Albert și ing. M. Bogan *)

Siguranța în funcționare a instalațiilor de distribuție și transport al energiei electrice era estimată în trecut pe baza practicii inginerești. În prezent, însă, există posibilitatea de a stabili prin calcul schemele de conexiuni și măsurile de exploatare corespunzătoare unui grad de siguranță dorit. „Măsuri" pentru siguranța în funcționare pot fi: numărul mediu probabil de întreruperi ale alimentării pe consumator și an, durata medie probabilă a întreruperilor, durata totală de întrerupere pe consumator și an ș.a.

1. Generalități

1.1. Cercetînd metodele de calcul al siguranței în funcționare utilizate în diferite țări, se constată că rezolvarea acestei probleme diferă de la o țară la alta, în funcție de tradiție, posibilități în mijloace de calcul etc.

Astfel, în S.U.A. [1], [2], [3] se practică o metodă statistico-probabilistică cu utilizarea lanțurilor Markov (luarea în considerație a probabilităților condiționate). În R.D.G. și R.P.U. [4]—[8] se aplică teoremele generale ale calculului probabilităților, fără luarea în considerație a probabilităților condiționate. În U.R.S.S. [9] — [12] se utilizează o serie de metode probabilistice simple, care nu fac apel la calculatoare electronice și sînt în curs de elaborare unele metode mai perfecționate, care vor necesita utilizarea unor mijloace speciale de calcul.

Cercetătorii români [13], [15] au elaborat două metode de determinare a siguranței, bazate pe procedeele calculelor statistico-probabilistice:

— o metodă prin care se stabilește valoarea energiei electrice nelivrate probabile și a pagubelor cauzate de aceasta la consumatori (metoda nu ține seamă de probabilități condiționate);

— o metodă care își propune determinarea unor indicatori de siguranță, funcționarea sistemului fiind descrisă printr-un proces stocastic de tip Markov.

Analizînd metodele prezentate în diferite publicații, se constată că tendința generală este elaborarea de modele matematice care să conducă la rezultate practice cît mai exacte și mai apropiate de scopul urmărit, obținerea unor indicatori de siguranță care să permită elaborarea unor criterii obiective de selecție și comparare a diferitelor soluții. Toate metodele cer un volum similar de informații din sistem, obținute din prelucrarea datelor statistice privind indisponibilitățile de echipamente.

1.2. *Metoda utilizată în ISPE.* În studiile și proiectele de dezvoltare a rețelelor, elaborate în ISPE, a căpătat aplicare metoda bazată pe utilizarea proceselor stocastice Markov staționare [15] — [18].

Problema curentă de calcul al siguranței în funcționare comportă, după această metodologie, următoarea ordine de rezolvare:

— determinarea parametrilor de comportare a fiecărui tip de echipament (λ, μ);

— determinarea stărilor caracteristice prin care poate evolua procesul de funcționare a sistemului considerat;

— stabilirea modului de calcul (cu mașini de birou sau calculator) și pregătirea corespunzătoare a relațiilor de calcul.

2. Calculul siguranței în funcționarea rețelelor de distribuție urbană de medie tensiune

2.1. *Existența în ISPE a unei metodologii de calcul al siguranței schemelor electrice de conexiuni* a permis extinderea acestor calcule la analiza rețelelor de distribuție urbană.

Se constată că pentru orașe la care numărul întreruperilor în alimentarea cu energie electrică și durata acestora au urmări sociale importante, care însă nu pot fi prinse ca „daune" (ca, de exemplu, la consumatorii industriali), sînt necesari indicatori numerici care să permită aprecierea calitativă a siguranței oferite de diferitele scheme de distribuție urbană pentru consumatorii respectivi. În această situație se fixează criteriile de siguranță de urmărit și se analizează acele scheme pentru care sînt satisfăcute criteriile respective. Astfel de criterii pentru centrele urbane sînt, spre exemplu, în sistemul electric Edison -Detroit, următoarele:

— întreruperi RAR, AAR: 8 pe an;
— întreruperi pînă la 5 min: 0,5 pe an;
— întreruperi pînă la 20 min: 0,2 pe an.

Avînd în vedere cele de mai sus, cît și posibilitățile metodei utilizate în ISPE, se constată că se poate face analiza schemelor de distribuție urbană admițînd drept criterii de siguranță următorii indicatori:

— durata medie probabilă a întreruperilor pe an și pe consumator alimentat;

— numărul mediu al întreruperilor pe an și pe consumator alimentat, de diferite durate (manevră și cu timp lung).

2.2. *Aplicarea metodologiei prezentate la calculul rețelelor de distribuție urbană.* Schemele au fost analizate plecînd de la barele de 110 kV

*) Hermina Albert este inginer proiectant principal I la ISPE, iar Magda Bogdan este inginer proiectant principal II la același institut.

ale staţiilor de injecţie şi cuprind reţeaua de medie tensiune pînă la barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare de MT/JT. În ceea ce priveşte modul de realizare a distribuţiei în medie şi joasă tensiune, s-au considerat următoarele tipuri de scheme :

a) În medie tensiune

— scheme cu reţea de alimentare (puncte de alimentare legate în tripletă) şi reţea de distribuţie de MT buclată între două puncte de alimentare ;

— scheme de distribuţie directă, fără posibilităţi de buclare (distribuitoarele sînt alimentate de la un singur capăt) ;

— scheme cu reţea buclată şi distribuţie directă (distribuitoarele sînt alimentate de la ambele capete) în regim normal cu funcţionare radială.

b) În joasă tensiune

— scheme radiale ;

— scheme buclate longitudinal (pe acelaşi distribuitor de MT).

Urmărind cuprinderea unui număr cît mai mare de cazuri de reţele de distribuţie de medie tensiune, în scopul generalizării rezultatelor calculelor de siguranţă, s-au luat în consideraţie mai multe valori pentru elementele caracteristice (puterea instalată în staţii, tensiunea reţelei de distribuţie de MT, secţiunea şi lungimea fiderilor şi a distribuitoarelor, numărul posturilor de MT/JT etc.).

Starea de succes o constituie prezenţa tensiunii la bara de joasă tensiune a posturilor de MT/JT.

Datele de bază utilizate pentru determinarea parametrilor λ şi μ pentru fiecare element component al schemelor au fost extrase din datele statistice existente în evidenţa exploatării. Valorile λ şi μ obţinute sînt cele din tabelul 1.

Tabelul 1

Tipul aparatului	$\lambda.10^{-8}.s^{-1}$	$\mu.10^{-8}.s^{-1}$
110 kV		
Transformatoare 110/MT	0,206	200
Întreruptoare	2,700	1510
Separatoare	0,439	3906
Bare colectoare	0,337	3333
Linii aeriene	0,135/km	20500
6—10 kV		
Transformatoare MT/JT	0,048	430
Întreruptoare	0,0346	5040
Separatoare	0,096	14600
Cabluri	0,000344/km	2500
Reactoare	0,0042	1740

Valorile μ în medie tensiune corespund următorilor timpi medii de reparaţie şi de repunere în funcţiune (în ore) :

— întreruptoare 6—10 kV	6
— separatoare 6—10 kV	2
— cabluri 6—10 kV	19
— trafo 110/MT	140
— trafo MT/JT	64

Se menţionează că, în proiectare, datorită volumului redus de date statistice de care s-a dispus, analizele au fost efectuate pentru diverse valori pentru λ şi μ (studii parametrice). Rezultatele sînt prezentate în tabelul 2.

Ca o concluzie generală la aceste rezultate, se desprinde, între altele, faptul că la actualul nivel de informare privind comportarea echipamentului la diferite tensiuni, indicatorii de siguranţă sînt practic independenţi de tensiunea reţelei de distribuţie, de secţiunea distribuitoarelor de medie tensiune şi de puterea instalată în staţiile de injecţii. Ei variază esenţial în funcţie de modul de organizare a reţelelor de medie şi joasă tensiune, şi anume :

a) *Schema radială pe MT şi pe JT* prezintă valorile cele mai nefavorabile pentru indicatorii de siguranţă, diferind de la post la post, în funcţie de depărtarea postului faţă de bara de alimentare (pentru primul post : $T_d = 28{,}02$ ore/an, $N_d = 1{,}81$ întreruperi pe an ; pentru al 9-lea post, $T_d = 31{,}76$ ore/an şi $N_d = 2{,}88$ întreruperi pe an). În această situaţie, în funcţie de condiţiile de siguranţă impuse, se poate fixa numărul maxim de posturi ce pot fi alimentate dintr-un distribuitor radial.

Buclarea reţelei de JT aduce o reducere destul de importantă a duratei medii de întrerupere (de exemplu, de la 16,4 ore la 15,5 ore pentru primul post).

b) *Schemele cu PA, reţea de distribuţie de MT buclată şi reţea de JT radială.* Se constată o îmbunătăţire sensibilă a indicatorilor de siguranţă faţă de schema radială, în special prin mărirea continuităţii în alimentarea reţelelor de MT. De asemenea, aceştia nu mai variază esenţial de la post la post.

c) *Schemele cu distribuţie directă buclată.* Valorile indicatorilor de siguranţă sînt practic aceleaşi pentru toate posturile şi foarte apropiate ca ordin de mărime cu cele obţinute în schemele cu PA. Dacă se consideră buclată şi reţeaua de joasă tensiune, se obţine o reducere importantă a duratei întreruperilor.

Rezultă deci că indicii cei mai favorabili se obţin în cazul schemelor (c) cu buclarea reţelei de JT. Schemele cu PA şi distribuţie directă (cu reţea de JT radială) prezintă indici aproape identici. Schemele (a) prezintă cel mai redus grad de siguranţă.

Comparînd valorile indicatorilor de siguranţă obţinuţi cu indicatorii din standardul american, se constată că, în special ca valoare medie a duratei unei întreruperi pe an, aceasta depăşeşte nivelul admis la standardul american.

Tabelul 2

Rețeaua de MT	Rețeaua de JT	Indicatorul de siguranță	Numărul postului de pe un distribuitor de MT								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Schema radială (alimentare de la un singur capăt) 6 kV	Radială	Durata întreruperii, T_d (ore/an)	30	30,4	30,9	31,4	31,9	32,3	32,8	33,2	33,7
		Numărul întreruperilor de durată pe an, N_d	1,83	1,95	2,07	2,19	2,32	2,44	2,56	2,68	2,81
		Durata medie a unei întreruperi, T_M (ore/an)	16,4	15,6	14,9	14,3	13,7	13,3	12,8	12,4	12,0
	Buclată	Durata întreruperii, T_d (ore/an)	28,02	28,02	28,4	28,4	28,9	29,9	30,8	31,4	31,8
		Numărul întreruperilor de durată pe an, N_d	1,81	1,89	1,94	2,06	2,30	2,43	2,55	2,67	2,88
		Durata medie a unei întreruperi, T_M (ore/an)	15,5	14,8	14,6	13,8	12,6	12,3	12,1	11,7	11,0
Schema cu PA și rețea de distribuție buclată de 6 kV	Radială	Durata întreruperii, T_d (ore/an)	0,527	0,526	0,525	0,523	—	—	—	—	—
		Numărul întreruperilor de durată pe an, N_d	0,132	0,132	0,131	0,131	—	—	—	—	—
		Durata medie a unei întreruperi, T_M (ore/an)	4,0	4,0	4,0	4,0	—	—	—	—	—
Idem, 10 kV	Radială	Durata întreruperii, T_d (ore/an)	0,529	0,528	0,526	0,525	—	—	—	—	—
		Numărul întreruperilor de durată pe an, N_d	0,132	0,132	0,132	0,131	—	—	—	—	—
		Durata medie a unei întreruperi, T_M (ore/an)	4,0	4,0	4,0	4,0	—	—	—	—	—
Schema cu distribuție directă buclată 6 kV	Radială	Durata întreruperii, T_d (ore/an)	0,525	0,524	0,523	0,522	—	—	—	—	—
		Numărul întreruperilor de durată pe an, N_d	0,132	0,132	0,131	0,131	—	—	—	—	—
		Durata medie a unei întreruperi, T_M (ore/an)	3,98	3,98	3,98	3,98	—	—	—	—	—
	Buclată	Durata întreruperii, T_d (ore/an)	0,151	0,151	0,15	0,15	—	—	—	—	—
		Numărul întreruperilor de durată pe an, N_d	0,102	0,102	0,101	0,101	—	—	—	—	—
		Durata medie a unei întreruperi, T_M (ore/an)	1,5	1,5	1,5	1,5	—	—	—	—	—
Schema cu distribuție directă buclată 10 kV	Radială	Durata întreruperii, T_d (ore/an)	0,530	0,529	0,528	0,526	0,525	0,525	—	—	—
		Numărul întreruperilor de durată pe an, N_d	0,133	0,133	0,132	0,131	0,131	0,131	—	—	—
		Durata medie a unei întreruperi, T_M (ore/an)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	—	—	—
	Buclată	Durata întreruperii, T_d (ore/an)	0,151	0,151	0,151	0,150	0,150	0,150	—	—	—
		Numărul întreruperilor de durată pe an, N_d	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,100	—	—	—
		Durata medie a unei întreruperi, T_M (ore/an)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	—	—	—

Acest lucru se datorește timpilor mari de reparații și repuneri în funcțiune existenți în sistemul nostru, în special la transformatoarele din stații și din posturi.

3. Considerații asupra cheltuielilor suplimentare cerute de mărirea gradului de siguranță într-o rețea de distribuție urbană

Pentru schemele analizate s-a făcut o examinare orientativă a cheltuielilor suplimentare legate de obținerea unui grad îmbunătățit de siguranță.

Din această analiză au rezultat următoarele:

— Trecerea de la o schemă de MT radială (cu rețea de JT radială) la o schemă de MT buclată (cu rețea de JT radială) necesită o investiție suplimentară de circa 85 000 lei/post (în cazul adoptării schemelor cu PA), respectiv de circa 26 000 lei/post (în cazul distribuției directe).

— Buclarea rețelei de joasă tensiune este însoțită de o creștere apreciabilă a investiției suplimentare. Astfel, conform tabelului 3, pentru o densitate de sarcină de 10 MVA/km² pe teritoriul unui oraș, investiția suplimentară este cuprinsă între 43 200 lei pe post (pentru puterea postului de 250 kVA) și 158 000 lei pe post (pentru puterea postului egală cu 630 kVA).

Se reține deci că schemele buclate oferă cele mai bune condiții în alimentarea consumatorilor, însă conduc la valori mult mai ridicate ale volumului necesar de investiții. Acest lucru se analizează în detaliu în cazul studiilor concrete de dezvoltare a orașelor.

4. Propuneri de indici de siguranță normați pentru rețele urbane de medie tensiune din România și justificarea lor economică

Se propune ca siguranța unei scheme de distribuție urbană să fie caracterizată prin doi indicatori:

— Durata medie probabilă a unei întreruperi pe an, la bara de JT a unui post de MT/JT (ore pe an și pe post).

— Numărul mediu probabil de întreruperi de durată pe an, la bara de JT a unui post de MT/JT.

Ca urmare a rezultatelor studiilor întreprinse, apare posibilă diferențierea acestor indicatori de siguranță pe trei categorii de orașe, la valorile redate în tabelul 4.

Tabelul 4

Categoria de oraşe	Numărul întreruperilor de durată (pe an şi pe post)	Durata medie a unei întreruperi (ore pe an şi pe post)
I	0,11	1,5
II	0,13	4,0
III	2,2	15,0

Aceste valori se vor utiliza în studiile tehnico-economice de determinare a soluțiilor de dezvoltare a rețelelor urbane în modul următor:

— în funcție de importanța orașului, se vor tria acele scheme care satisfac valorile normate respective;

— se vor compara economic acele variante care asigură cel puțin condițiile de continuitate în alimentare corespunzătoare categoriei respective.

Concluzii

Rezultatele practice obținute din considerarea condițiilor de siguranță ce trebuie asigurate de către rețelele de distribuție urbană permit desprinderea următoarelor idei importante:

— Metodologia de calcul al siguranței de care dispunem se poate extinde și utiliza ușor și la studiul siguranței schemelor de distribuție urbană.

— Indicatorii numerici rezultați din calculul efectuat pot fi considerați criterii de bază în

Tabelul 3

Tensiunea și secțiunea distribuitoarelor de MT (kV, mm²)	Secțiunea distribuitoarelor de JT (mm²)	S_n (kVA)	Posturi MT/JT. Număr de posturi pe distribuitor		Densitatea de sarcină	Investiții în rețeaua de joasă tensiune			
						Radial		Buclat	
			Rezervă 0% (radial)	Rezervă 25 % (buclat)		Total investiții (mii lei)	Investiții pe post (mii lei/post)	Total investiții (mii lei)	Investiții pe post (mii lei/post)
10 kV		250	7,8	9,7	5	555,4	71,2	1225,9	126,4
					10	360,5	46,2	867,1	89,4
					15	293,8	37,7	708,0	73,0
3×120 Al	3 × 25 Cu	400	4,9	6,1	5	737,6	150,5	1577,8	258,6
					10	261,2	94,1	117,1	183,1
					15	379,5	77,4	907,0	148,7
		630	3,1	3,9	5	1013,6	327,0	2037,1	522,3
					10	654,5	211,1	1439,2	369,0
					15	479,6	154,7	1175,5	301,4

stabilirea deciziilor privind siguranța schemelor de distribuție urbană.

— Indicatorii respectivi constituie totodată un mijloc posibil de a stabili o corelație obiectivă între condițiile de siguranță în funcționare și consecințele economice.

— Datele de bază necesare calculelor de siguranță, respectiv valorilor parametrilor λ și μ, se obțin din datele curente existente în statistica exploatării.

Bibliografie

[1] De Sieno, C. F. și Stine, L. L. *A probability method for determining the reliability of electric power system.* PAS nr. 2, 1964.

[2] Gangel, M. W. și Riyleo, R. J. Distribution system reliability performance. PAS nr. 7, 1958.

[3] Billinton, R. *Composite system reliability evaluation.* PAS nr. 4, 1969.

[4] Kloeppell, F. W. *Berechnunge Verfahren für die Bestimmung der Versorgungssicherheit in elektrischen Energienetzen.* Energietechnik nr. 7, 1964.

[5] Kloeppell, F. W. *Grundselze zur Berechnung der Zuverlassigkeit.* Netztagung, Leipzig, 1969.

[6] Kloeppel, F. W. și Schaller, D. *Schadenorientiertes Verfahren zur Berechnung der Zuverlassigkeit der Elektroenergieversorgung.* Energietechnik nr. 18, 1968.

[7] Szemeny, Z. *Metode de calculare a siguranței rețelelor electrice* (în limba maghiară). Elektrotechnika 59, nr. 1—2, 1966.

[8] Karady, Gy. și Szemeny, Z. *O nouă metodă de determinare a siguranței în funcționare* (în limba maghiară). Elektrotechnika, Budapesta, nr. 4, 1966.

[9] Besmertnîi, I.C. și Fedosenko, R. I. *Opredelenie stepeni nadejnosti i rezervirovaniia v gorodskih setiah,* Elektricestvo, 1963.

[19] Fedorov, A. A. și Mihailov, V. K. *O nadejnosti shem elektrosnabjeniia predpriatii.* Promîșlennaia energhetika, nr. 10, 1966.

[11] Fedosenko, R. I. *Nadejnosti elektrosnabjeniia i elektriceskie nagruzki.* Energhiia, 1967.

[12] Guk, B. I. și Bîkov, V. M. *Metodika rașciota nadejnosti shem elektriceskih soedinenii stanții i podstanții.* Elektriceskie stanții nr. 10, 1968.

[13] Constantinescu, E. *Dimensionarea instalațiilor electroenergetice cu ajutorul metodelor statistice și probabilistice.* Autoreferat la teza de doctorat, Institutul politehnic București, 1967.

[14] Constantinescu, E. *Analiza statistică a curbelor de sarcină.* Energetica nr. 2, 1967.

[15] Nitu, V. I., Albert, H. și Brădescu, M. *Metode statistico-probabilistice utilizate în energetică.* Editura tehnică, București, 1968.

[16] Nitu, V. I., Albert, H. și Brădescu, M. *Aspecte generale ale teoriei siguranței schemelor energetice.* Studii și cercetări de calcul economic și cibernetică economică. Caiet 6, 1967.

[17] Nitu, V. I., Albert, H. și Brădescu, M. *O nouă metodă pentru evaluarea siguranței de funcționare a schemelor stațiilor electrice folosind calculul probabilităților.* Energetica nr. 12, 1965.

[18] Albert, H. *Indicații privind calculul siguranței în funcționarea conexiunilor electrice.* ISPE, noiembrie 1969.

(Articol intrat în redacție 4 septembrie 1970)

Stabilirea relației consumului de abur al ejectorului pentru condensator cu ajutorul analizei dimensionale generale

Ing. **C. I. Staicu***)

Pentru calculul consumului de abur al ejectorului, G, se folosesc diverse relații empirice, cunoscute din literatura de specialitate [1], [2], precum și relația teoretică :

$$G = 0{,}573\, d^2 \sqrt{p\gamma} \text{ kg/h.} \qquad (1)$$

Sub această formă, relația (1) este adaptată unităților de măsură care se folosesc în practică : diametrul minim al ajutajului, d, în mm, presiunea aburului înaintea ajutajului, p, în ata, și greutatea specifică a aburului înaintea ajutajului, γ, în kg/m^3.

În acest articol se prezintă aplicarea analizei dimensionale generale la stabilirea relației (1). Metoda utilizată se bazează pe lucrările autorului [4], [5], [6]. Regăsirea relației (1) cu analiza dimensională generală confirmă valabilitatea metodei folosite.

În mod similar cu exemplul care se prezintă, analiza dimensională generală poate fi aplicată fenomenelor fizice pentru care nu se cunosc relațiile analitice, metoda conducînd la relații corecte, de același tip.

Stabilirea relației

1. *Funcția mărimilor*

Prezența aerului în condensator se datorește neetanșeităților inevitabile ale turbinei, ale condensatorului și ale schimbătoarelor de căldură sub vid legate de condensator.

Fenomenul fizic prezentat de scurgerea fluidelor prin ejector este determinat de mărimile din (1) și de accelerația gravitației. În desfășurarea procesului, acest factor determină variația direct proporțională a consumului de abur. Rezultă deci funcția explicită :

$$G = f(d, p, \gamma, g), \qquad (2)$$

care descrie fenomenul. Între cele $m^* = 5$ mărimi fizice există o relație necunoscută.

2. *Exponenții de mărime*

Pentru stabilirea relației matematice corespunzătoare funcției (2), este suficientă proprie-

*) Ing. Constantin I. Staicu este șef de sector la ICENERG.

tatea dimensională a relațiilor raționale, exprimată prin principiul omogenității, conform căruia mărimile fundamentale ale sistemului dimensional utilizat trebuie să fie aceleași de ambele părți ale semnului de egalitate.

În conformitate cu teorema fundamentală a analizei dimensionale generale [4], relația căutată se scrie sub forma :

$$G^a = k\, d^b\, p^c\, \gamma\, g^f, \tag{3}$$

în care a, b, c, e și f sînt exponenți de mărime, iar k este un factor numeric de proporționalitate ; acestea sînt necunoscute.

În vederea aplicării analizei dimensionale la stabilirea valorilor numerice ale exponenților de mărime se adoptă sistemul dimensional cu $d^* = 3$ mărimi fundamentale (L, M, T), utilizat în mecanică ; dimensiunile din (3) sînt următoarele :

$$\begin{aligned} &[G] = [LMT^{-3}]; \\ &[d] = [L]; \qquad [\gamma] = [L^{-2}MT^{-2}]; \\ &[p] = [L^{-1}MT^{-2}]; \quad [g] = [LT^{-2}]. \end{aligned} \tag{4}$$

Prin introducerea ecuațiilor (4) în (3) și prin aplicarea principiului omogenității, conform căruia exponenții mărimilor fundamentale trebuie să fie, respectiv, aceiași în cei doi termeni, se obține sistemul diofantic

$$\left.\begin{aligned} a &= b - c - 2e + f; \quad (1) \\ a &= c + e; \quad (2) \\ -3a &= -2c - 2e - 2f; \quad (3) \end{aligned}\right\}, \tag{5}$$

format din $e^* = d^* = 3$ ecuații liniare, neomogene, cu $n^* = m^* = 5$ necunoscute. Întrucît $n^* = 5 > e^* = 3$, sistemul (5) este nedeterminat sau admite o infinitate de soluții matematic posibile, care conduc la același număr de relații dimensional valabile, între care se găsește și relația unică, fizic valabilă.

Pe baza celor arătate de autor în [4], [5], [6], exponenții de mărime admit numai valori întregi, pozitive, ca urmare a faptului că s-au afectat exponenți necunoscuți la toate mărimile utilizate la descrierea fenomenului fizic, iar mărimile au fost distribuite între cei doi membri ai relației ; valorile întregi, pozitive, care determină relația fizic valabilă, sînt cele minime din șirul soluțiilor care satisfac sistemul (5), cunoscînd că acest șir de soluții conduce la relații echivalente.

Pentru rezolvarea sistemului diofantic de ecuații (5), se iau în considerare aceste precizări în privința naturii soluțiilor și se utilizează metoda omogenizării mărimilor fundamentale [5], [6] ; ecuațiile se rezolvă separat, în ordinea crescîndă a numărului de termeni și se atribuie parametrilor arbitrari numai valorile minime, întregi, pozitive, care conduc la valori de aceeași natură pentru necunoscutele dependente.

Astfel, în baza legii omogenizării progresive, se consideră ecuația (5.2) care are cel mai mic număr de termeni ; în baza legii valorilor minime, întregi, pozitive, rezultă $c = e = 1$ și $a = 2$. Cu aceste valori, din ecuația (5.3), care are un număr mai mare de termeni, rezultă soluția $f = 1$. Ultima ecuație, (5.1), cu cel mai mare număr de termeni, conduce la soluția $b = 4$.

Prin introducerea în (3) a acestor soluții unice rezultă relația :

$$G = k\, d^2 \sqrt{p\, \gamma\, g}. \tag{6}$$

Se constată că relația (6) este similară cu relația (1), completată cu mărimea nou introdusă, g.

3. *Factorul numeric*

Într-o relație rațională, care se stabilește cu analiza dimensională generală, valoarea numerică a factorului de proporționalitate k se calculează cu datele măsurate, în practică sau experimental, pentru toate mărimile din relație ; este suficient un număr relativ redus de valori, de la numai 3—4 măsurători. Cu datele care se consideră, relația examinată conduce la diverse valori pentru factorul numeric ; variațiile mici ale valorilor calculate pentru k confirmă valabilitatea relației respective, cunoscînd că factorul numeric este constant numai în relațiile fizic valabile. Pe baza lor se adoptă apoi o valoare medie unică. Pentru relațiile unui fenomen fizic oarecare, care respectă numai condiția de omogeneitate, vor rezulta întotdeauna valori variabile pentru factorul de proporționalitate.

Deoarece în cazul de față nu s-a dispus de asemenea date, se iau în considerare valorile calculate cu relația (1). Pentru generalizare, și ținînd seama de ordinul de mărime al realizărilor practice, în calculele care urmează se adoptă o gamă variată de valori, indicate în tabelul 1. Datele pentru abur se referă la starea saturată.

Tabelul 1

Nr. crt.	d mm	p ata	γ kg/m³	G kg/h
1	20	6,0	3,112	990
2	12	8,0	4,085	472
3	17	10,0	5,049	1177
4	10	14,0	6,967	566

Cu aceleași date adoptate și date calculate cu relația (1) se determină valorile factorului de proporționalitate din relația (6). Rezultatele calculelor cu această relație, la care s-a ținut seama de unitățile de măsură, relația (6) fiind rațională, se dau în tabelul 2.

Tabelul 2

Nr. crt.	d cm	p kg/cm²	γ cm³/kg	g cm/s²	G kg/s	k
1	2,0	6,0	$3{,}112\times10^{-6}$	981	0,275	0,509
2	1,2	8,0	$4{,}085\times10^{-6}$	981	0,131	0,511
3	1,7	10,0	$5{,}049\times10^{-6}$	981	0,327	0,510
4	1,0	14,0	$6{,}967\times10^{-6}$	981	0,157	0,509

Valorile care au rezultat pentru factorul numeric sînt practic aceleași; se adoptă valoarea medie $k = 0{,}51$ și astfel relația definitivă va avea forma:

$$G = 0{,}51\, d^2 \sqrt{p\,\gamma\,g}. \qquad (7)$$

Concluzii

Din compararea valorilor la care conduc relația analitică, adaptată unităților de măsură folosite în practică (1), utilizată în prezent, și relația (7), care se prezintă în această lucrare, nu rezultă diferențe. Acest fapt confirmă valabilitatea metodei de analiză dimensională generală care a fost aplicată la stabilirea relației (7).

Metoda utilizată de autor devine interesantă în cazul fenomenelor pentru care nu se cunosc relațiile analitice, lucrarea de față prezentînd, ca o exemplificare, modul de aplicare.

Bibliografie

[1] Vlădea, I. *Bazele teoretice ale termotehnicii.* Editura Energetică de Stat, București, 1956, vol. I, p. 389—405.

[2] Șliahin, N. P. *Turbine cu abur.* Editura Tehnică, București, 1952, p. 280—284.

[3] Komarov, M. A. și Lukniţki, Y. V. *Îndreptar pentru termotehnicieni.* Editura Eenergetică de Stat, București, 1953, p. 425—427.

[4] Staicu, I. C. *Teorema fundamentală a analizei dimensionale generale.* Studii și cercetări științifice — Fizică și științe tehnice, XIII, fasc. 2, 1962, p. 159—172.

[5]. Staicu, I. C. *Legea valorilor minime, întregi, pozitive în analiza dimensională generală.* Buletinul științific și tehnic al Institutului Politehnic Timișoara, tomul 12 (26), fasc. 2, 1967, p. 393—401.

[6] Staicu, I. C. *Legea omogenizării progresive în analiza dimensională generală.* Buletinul științific și tehnic al Institutului Politehnic Timișoara, tomul 14 (28), fasc. 2, 1969, p. 469—478.

(Articol intrat în redacție la 12 mai 1970)

Considerații privind stratul protector de magnetită în cazane de presiune înaltă

Ing. L. Stanisavlievici*)

Prescripțiile de calitate a apei de alimentare pentru cazane de presiune înaltă tolerează concentrații foarte mici din anumite impurități. Aceste toleranțe trebuie considerate ca o îmbinare între considerațiile teoretice referitoare la regimul chimic al apei și exigențele exploatării.

Tehnica tratării apei nu reușește încă să elimine din apa de alimentare a cazanului toate impuritățile în suspensie, în stare coloidală sau în soluție. Nici metodele de determinare a acestor impurități nu au, toate, gradul de precizie care ar fi necesar.

Experiența din exploatare, cu caracterul ei specific, de regulă foarte pronunțat, nu poate fi totdeauna generalizată; presupunînd că condițiile regimului chimic al apei sînt similare, pot exista deosebiri esențiale în ceea ce privește calitatea materialelor folosite, calitatea execuției, configurația circuitului termic etc.

Susceptibilitatea la coroziuni latente ale metalului din circuitul apei, felul „condiționării" apei din circuit, compatibilitatea dintre calitatea metalului suprafețelor de vaporizare și sarcina termică specifică, fenomenele cristalochimice care solicită stratul protector din cazan sub influențe chimice, mecanice și termice, sînt principalii factori care dau caracterul specific rezultatelor obținute în exploatare. Valorificarea lor implică, în fiecare caz în parte, sinteza dintre fundamentarea teoretică a fenomenelor constatate și datele culese din practică.

Stratul protector este constituit în majoritate, dar nu integral, din magnetită (Fe_3O_4); el conține și oxizi ai altor metale și nu reprezintă o rețea omogenă decît din punct de vedere cristalografic.

În condițiile severe de regim chimic al apei pe care-l impune exploatarea cazanelor moderne și la aplicarea tuturor măsurilor pe care tehnologia tratării apei le poate oferi, formarea și menținerea unui strat protector eficient pe metal este, în ultimă instanță, o problemă de comportare la solicitare termică intensă a structurii cristaline a suprafeței-limită.

Oxidarea la cald, în apă sau în abur, a unui oțel necorespunzător, nu poate fi stăpînită — întîrziată sau dirijată — prin diverse intervenții asupra regimului chimic al apei. Bineînțeles că acesta trebuie să corespundă exigen-

*) L. Stanisavlievici este inginer cercetător la ICENERG.

ţelor impuse de exploatarea cazanelor moderne şi să nu contribuie, prin aporturi de substanţe în suspensie sau în soluţie, la perturbarea stabilităţii stratului protector de „magnetită".

Magnetita — Fe_3O_4 — este un oxid dublu: $FeO \cdot Fe_2O_3$; structura ei este similară cu aceea a spinelului $MgO \cdot Al_2O_3$, care este de tip AB_2O_4. Fără modificări importante în structura reţelei, Mg poate fi înlocuit cu alte metale bivalente, avînd raze atomice oarecum egale, ca: Fe, Cu, Ni, Cr, Mn, Zn sau cu amestecurile lor. De asemenea, în locul Al_2O_3 pot intra oxizii altor metale trivalente: Fe_2O_3, Cr_2O_3 etc. Metalele bivalente pot fi substituite în reţeaua cristalină a spinelului printr-o combinaţie în proporţie de 1:1 de elemente mono şi trivalente; metalele trivalente pot fi, la rîndul lor, înlocuite în proporţie de 1:1 de elemente bi şi tetravalente [1].

Magnetita face parte din clasa cristalină a acestor spinele; ea este însă un spinel „invers", de tip $BABO_4$: $Fe^{3+}(Fe^{2+}.Fe^{3+})O_4$, prezentînd proprietăţi feromagnetice. Constanta reţelei substanţei pure este: $a = 8{,}39$ Å; „magnetita" reală are constanta $a = 8{,}451 \pm 0{,}003$Å.

Spinelele $CuO \cdot Fe_2O_3$; $MnO \cdot Fe_2O_3$ etc. prezintă şi ele proprietăţi magnetice, cu toate că ioxzii elementelor înlocuitoare sînt practic nemagnetici.

Structura cristalografică a stratului protector din cazan se prezintă ca o reţea de magnetită în care sînt diseminaţi cationi străini — Cu, Zn, Cr, Mn etc. — proveniţi din oţelul aliat al ţevilor cazanului sau al conductelor circuitului termic, din zona „caldă" în care are loc formarea stratului protector de „magnetită".

Aderarea stratului protector de oxizi pe metal este un fenomen de creştere orientată — topotaxie şi epitaxie — determinată de structura cristalină a substanţelor care intervin [2], [3].

Topotaxia este substituirea orientată în spaţiu a reţelei cristaline existente a metalului prin reţeaua cristalină a oxizilor de fier. Între aceste două reţele există o analogie structurală; similitudinea metrică şi energetică dintre ele este tridimensională. Înrudirea structurală este mai accentuată decît în cazul epitaxiei: la modificarea unui cristal într-un altul, de compoziţie diferită, se păstrează direcţia celor trei axe cristalografice.

Epitaxia este creşterea orientată a unei faze cristaline pe planul structural existent al altei faze cristaline, izo- sau eterochimică. Se formează astfel o zonă de contact eterogenă.

Planul reticular-limită al purtătorului exercită forţe dirijate asupra substanţei care se depune. Reţeaua cristalină a acesteia trebuie să posede un plan reticular avînd similitudine metrică şi energetică bidimensională satisfăcătoare. Purtătorul impune uneori anumite abateri mici în dimensiunile planului reticular al substanţei care se depune, tolerate însă de aceasta. Astfel, oxizi ca Fe_3O_4 se întrepătrund cu metalul, formînd straturi ce cresc orientat şi prezentînd o aderenţă desăvîrşită cu suportul.

Formarea unor corpi solizi, cristalizaţi, în zonele-limită ale altor corpi solizi cristalizaţi — cum este cazul stratului de „magnetită" — nu are loc prin soluţie, ci în faza solidă. Aceste reacţii topochimice sînt dirijate de planurile de forţă din structura ordonată a suprafeţelor-limită a particulelor cristaline care intră în joc.

În „soluţii solide" au loc şi formări de cristale mixte, ţinînd de fenomenul general de izomorfie: două substanţe cristalizează într-o reţea comună, într-un raport de amestec continuu variabil, însă în anumite limite. Miscibilităţi sau toleranţe nelimitate sînt destul de rare. Fenomenul apare de regulă la acele substanţe care, separat, cristalizează în aceleaşi forme. Elementele care se substituie reciproc sînt dispuse neordonat în puncte identice ale reţelei, păstrîndu-se însă neutralitatea ansamblului cristalin.

Stabilitatea reţelei cristaline a stratului protector nu este afectată dacă substituirea în aceste soluţii solide respectă următoarele condiţii:

— similitudine chimică (în raport cu sistemul periodic al elementelor);

— valenţe egale;

— raze atomice sau ionice apropiate ca valori;

— caracteristici cristalografice şi proprietăţi roentgenografice apropiate.

Tabelul dă razele ionice ale unor elemente şi radicali [5] care intervin la constituirea reţelei cristaline de „magnetită" prin procese de substituire:

Cationi	Na^+	K^+	Cu^{2+}	Fe^{2+}	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Ca^{2+}	Al^{3+}	Fe^{3+}	Si^{4+}	P^{5+}
Å	0,97	1,33	0,72	0,74	0,72	0,80	0,99	0,51	0,51	0,42	0,35
Anioni	Cl^-	OH^-	O^{2-}	PO_4^{3-}							
Å	1,81	1,85	1,40	1,55							

Dacă elementele care se substituie nu respectă condiţiile de mai sus, apar fenomene de morfotropie, care pot duce la modificarea structurii reţelei cristaline şi la slăbirea acesteia.

În cazul stratului protector de „magnetită", aceste fenomene sînt generate de cele mai multe ori de regimul chimic nesatisfăcător al apei. Aici trebuie menţionat în special rolul complexului PO_4^{3-}, [6], prezent în apa din cazane ca

urmare a dozării sale. În anumite situații, acest complex poate accelera sau declanșa fenomene de coroziuni în cazan pe partea de apă. Astfel, cristale de hidroxilapatită cresc, prin fenomene de epitaxie, pe stratul protector, care nu este încă în echilibru, adică este încă în curs de creștere sau de scădere în grosime. Ele sînt încorporate în strat, deranjîndu-i structura cristalină. Efecte morfotropice pot distruge stratul protector slăbit local, sau defect, cînd complexul PO_4^{3-} se substituie în rețea înlocuind parțial ionii O^{2-}, sau ocupă locurile libere ale rețelei. Pot lua naștere fosfați micști cu cationi ale căror raze ionice sînt mai mici de 1 Å, ca Fe, Mn, Cu, Mg; rămîne ca rest α Fe_2O_3, lipsit de proprietăți protectoare. Fenomenul este intensificat de factorul termic (supraîncălziri locale).

Nu este cazul de a reveni asupra utilității în sine a adaosului de fosfat în apa cazanului [4], în special la presiuni de la 40 kgf/cm² în sus.

La tensiunile interne create în stratul protector de fenomenele de substituire, se adaugă: tensiunile termice constante, dar de valoare mare, sau variabile (la opriri și reporniri), eforturile mecanice, abaterile de la compoziția chimică a cristalelor, defectele de structură internă, modificarea formei exterioare; acestea inițiază local o degradare a stratului protector, iar defectarea stratului, cu consecințele cunoscute, devine apoi doar o chestiune de timp.

Viteza de oxidare la cald a fierului de către apă — care duce la formarea stratului protector — este, la temperaturi mai mari de 250°C, similară cu aceea a oxidării de către abur. Este un proces dirijat de difuzia ionilor fier ai metalului și a ionilor O^{2-} ai apei (sau ai aburului). Stratul protector nu este supus la tensiuni interne mari dacă grosimea sa nu crește prea mult.

Difuzia ionilor OH^- din alcalinitatea apei, prin stratul de oxizi format, accelerează oxidarea și creșterea stratului (conform reacției Schikorr), însă numai la concentrații de NaOH nepermis de mari pentru apa de cazane.

Variațiile de concentrație ale substanțelor dizolvate în apă nu influențează oxidarea la cald a fierului, dar sărurile depuse prin efectul hide-out pot perturba comportarea stratului protector, degradîndu-l local.

Oxidarea la cald a fierului în abur este mai accelerată decît în aer. În figura alăturată se prezintă diagramele creșterii stratului de magnetită în abur, pe un oțel Cr — Mo, în raport cu temperatura. Ele dau — în ore — timpul necesar obținerii unui strat în grosime de 10μ, la o temperatură dată (între 500 și 600°C).

Conținutul aburului în oxigen liber nu are rol important în acest proces, însă elementele de aliere ale oțelului au un rol important. Atingerea, la 540°C, a unei grosimi de strat de magnetită în țevile de abur de 10μ necesită

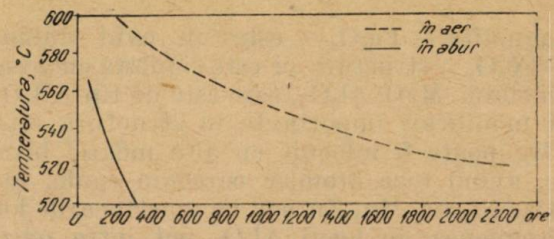


Fig. 1

aproximativ 100 ore de funcționare continuă a cazanului.

Coeficientul de dilatare termică al oxizilor este mai mic decît al metalului; la solicitări termice intense, la opriri și reporniri, pot apărea degradări ale stratului manifestate prin fisurări. De la o anumită valoare a sarcinii termice înainte, specifică pentru calitatea metalului folosit, factorul termic predomină la formarea, creșterea și stabilitatea stratului protector. Calitatea apei are influență defavorabilă asupra stratului protector numai dacă nu corespunde exigențelor exploatării cazanelor de presiune înaltă.

Aceste considerente trebuie să stea la baza stabilirii și menținerii unui regim chimic al apei corespunzător cazanelor moderne și să ajute la interpretarea judicioasă a unor fenomene ivite în exploatare și legate de comportarea nesatisfăcătoare a stratului protector de „magnetită".

Încercări de laborator [7] privind comportarea la coroziune a oțelurilor în abur au dus la concluzia că, dacă apei respective (cu un oarecare conținut rezidual în O_2) i se mărește *p*H-ul de la 7 la 12, oxidarea la cald este frînată. În cazul cazanelor de înaltă presiune, pentru a mări *p*H-ul se recomandă să fie folosit amoniacul, și nu alcalii solizi. Aici sînt de făcut unele observații: intensitatea coroziunii a fost determinată prin cîntărirea probelor de oțel; structura cristalografică și natura oxizilor, viteza specifică de creștere a stratului de oxizi și sarcina termică specifică la care au fost supuse probele nu sînt precizate. În aceste condiții nu se poate aprecia utilitatea încercărilor pentru studiul comportării stratului protector de magnetită.

Practica exploatării recurge de mult la alcalii volatili, în special la amoniac, pentru alcalinizarea apei din circuitul apă — abur — condensat al cazanelor de presiune înaltă. Realizarea unui *p*H = 12 cu ajutorul amoniacului impune o dozare de circa 100 g NH_3/l apă, ceea ce este de neconceput pentru exploatări de cazane.

Oxidarea la cald a oțelului (formarea stratului protector de magnetită) poate fi dirijată în sensul dorit și în limitele impuse de siguranța exploatării prin:

— alegerea materialului care să prezinte, în condițiile de lucru la care este supus, stabilitate structurală topochimică maximă;

— reducerea nivelului de coroziuni latente în circuit prin menținerea unei alcalinități optime, cu ajutorul alcaliilor volatili;

— eliminarea din apa de alimentare a tuturor impurităților în suspensie, coloidale și în soluție [1], [9], 10].;

— renunțarea la alte „condiționări" ale apei din cazan.

Factorul termic intervine prin supraîncălziri locale în procesul de oxidare la cald a fierului și în domeniul presiunilor mai mici, perturbînd dezvoltarea și stabilitatea stratului protector de „magnetită" [8]. La un cazan de 66 kgf/cm² s-au produs spargeri de țevi de economizor „reci" (țevi de legătură ieșire eco-tambur) prin coroziunea metalului. Inițial s-a format stratul protector de „magnetită", dar acesta a suferit degradări sub efectul unor supraîncălziri locale, permițînd astfel oxidarea în continuare a metalului. Supraîncălzirile au fost provocate de depuneri fosfatice de calciu și de magneziu, ca o consecință a regimului chimic al apei. Oxidarea la cald a metalului a dus la formarea de Fe_3O_4 în straturi groase, compacte, care nu aveau însă nici o acțiune protectoare, permițînd corodarea în continuare a metalului pînă la cedarea lui sub efectul presiunii.

În cazane cu solicitare termică specifică mare, stratul de magnetită poate crește relativ repede la grosimi mari, sub influența temperaturii ridicate a pereților țevilor [11], [12]. El rămîne dens, aderent, nedegradat, păstrîndu-și proprietățile protectoare față de metal. Fenomenul, încă insuficient explicat, nu a fost influențat de regimul chimic al apei, calitatea apei de alimentare fiind continuu ireproșabilă. El nu a fost generat de aporturi de oxizi din apa de alimentare, ci exclusiv de condițiile existente în cazan. Manifestat la cazane cu străbatere de 317 kgf/cm² presiune, fenomenul a provocat creșterea pierderilor de presiune în zona de vaporizare, prin rugozitățile formate pe suprafața interioară a țevilor; în consecință debitul cazanului a trebuit să fie redus. „Magnetita" protectoare era formată dintr-un strat subțire de oxizi, unul pe metal (topotactic) și altul, deasupra (epitactic); pe acesta din urmă crescuseră cristale bine dezvoltate, octaedrice, de compoziție identică cu stratul epitactic. Rețeaua cristalină prezenta un conținut mare în mangan. Suprafața oxizilor arăta ca un fagure (cratere), pereții acestor asperități regulate atingînd 40—45 μ înălțime. Este probabil ca conturul fagurilor să corespundă cu conturul granulelor cristaline ale metalului-suport. Oțelul țevilor avea următoarea compoziție chimică:

C = 0,10 — 0,18%	Cr = 0,70 — 1,0%
Mo = 0,40 — 0,50%	P = max. 0,04%
Si = 0,15 — 0,35%	S = max. 0,04%
Mn = 0,40 — 0,50%	

Fenomenul a apărut încă din perioada de pornire a cazanului, iar după un timp a dus la scăderea debitului; cazanul a fost oprit și spălat chimic. După repornire a apărut același fenomen, impunînd alte două opriri și spălări chimice.

Înainte de prima pornire, cazanul a fost spălat chimic prin metoda cu acizi organici; prima spălare în exploatare a fost efectuată cu HCl de 5% concentrație, iar a doua spălare cu HF de 1%. Procedeele de spălare folosite par a nu fi avut vreo influență asupra apariției, respectiv asupra persistenței fenomenului apărut. Totuși metoda de spălare chimică trebuie să fie perfect compatibilă cu metalul suprafețelor care trebuie curățate și acest lucru trebuie stabilit în prealabil prin încercări sistematice în laborator. Au fost semnalate cazuri cînd spălarea cu HCl și HF a unui oțel identic cu cel de mai sus a provocat atacarea metalului prin dizolvarea parțială a carburii de crom dintre granulele cristaline ale aliajului.

Emițîndu-se părerea că mărirea *p*H-ului apei va frîna coroziunea, s-a mărit dozajul de amoniac pentru a ridica valoarea *p*H de la 8,8 inițial la 9,5. Natural, fără nici un efect.

Reducerea debitului cazanului (deci a sarcinii termice specifice) a fost singura măsură rațională pentru a menține intensitatea fenomenului în limite suportabile pentru exploatare.

*

Degazarea intensivă a apei de alimentare, la valori extrem de reduse în conținut de oxigen, pare la prima vedere nerațională, deoarece formarea și menținerea stratului protector de „magnetită" necesită existența unei presiuni parțiale de oxigen. Presiunea parțială de oxigen care se stabilește deasupra rețelei cristaline de oxizi a stratului protector este dependentă de temperatură. Dacă oxigenul rezidual din apa ce intră în cazan nu este suficient pentru a realiza această presiune parțială, intervine oxigenul combinat din apă sau din abur. Are deci loc o oarecare descompunere a combinației H_2O, corespunzătoare realizării unei concentrații de 15 pînă la 30 μg O_2/kg.

În condițiile din cazan, oxigenul gaz este continuu antrenat; echilibrul necesar stabilității stratului protector nu se poate realiza și oxigenul este furnizat de descompunerea continuă a H_2O, care are loc chiar în prezența unui exces de hidrazină în apă.

Concentrații de oxigen gaz în apă, de ordinul 30 μg/l nu degradează stratul protector; coroziuni datorite oxigenului din apă apar în cazan numai acolo unde stratul protector este distrus local, mecanic, termic sau chimic. Oxizii care iau astfel naștere, în faza apă, nu se integrează total în stratul protector, iar coroziunile au condiții de a-și continua efectele lor.

Dozarea hidrazinei în apa de alimentare are rolul de a reduce la minimum coroziunile de oxigen din circuit; în cazan se pot admite, în apă, concentrații reziduale de oxigen sub 30μg/l, cu condiția însă ca stabilitatea stratului protector, sub influența factorilor mecanici, termici și chimici, să fie asigurată.

Din punctul de vedere al siguranței în exploatare a cazanelor de presiune înaltă, este recomandabil a elimina din apa de alimentare, cît mai complet, oxigenul dizolvat, presiunea parțială de oxigen necesară rețelei cristaline a stratului protector urmînd a se realiza automat, prin descompunerea corespunzătoare a combinației H_2O, în fază de apă sau de abur.

Concluzii

1. Dacă regimul chimic al apei pentru cazanele de presiune înaltă (cu tambur sau de străbatere) este corespunzător, formarea și menținerea unui strat protector eficient de „magnetită" nu pot fi influențate de anumite modificări în regimul chimic al apei, chiar dacă acestea ar fi considerate ca „ameliorări" față de situația anterioară.

2. Anomaliile întîlnite în exploatare în formarea, creșterea și stabilitatea stratului protector se datorează, în general — cînd apa corespunde realmente condițiilor impuse — comportării nesatisfăcătoare, din punct de vedere cristalografic, a metalului sub influența transferului intens de căldură.

3. La alegerea materialului pentru cazane, o importanță mare o au criteriile legate de oxidarea la cald a oțelului aliat (stabilitate structurală topochimică).

4. În afara demineralizării totale a apei de adaos, regimul chimic al apei pentru cazanele de presiune înaltă trebuie să cuprindă, în principiu, următoarele, putînd realiza practic combinații corespunzătoare situației locale:

— filtrarea mecanică continuă sau, după caz, tratarea complexă continuă integrală sau a unei părți a condensatelor recuperate;

— filtrarea apei de alimentare a cazanelor cu străbatere pentru eliminarea suspensiilor de oxizi din produsele de coroziune ale circuitului, cu amplasarea instalației în zona cît mai „caldă" a circuitului;

— degazarea suplimentară a apei de alimentare cu hidrazină;

— reducerea nivelului de coroziuni latente în circuit prin alcalinizare, pentru a degreva instalațiile de filtrare a condensatelor sau a apei de alimentare;

— alcalinizarea circuitului apă — abur — condensat cu alcalii volatili (hidrazina, eventual asociată cu amoniac) se va executa strict în raport cu condițiile specifice locale, adică cu gradul de susceptibilitate la coroziuni al materialului în condițiile de lucru date.

5. Apa de alimentare sau apa din cazan nu va fi supusă vreunei „condiționări" suplimentare, măsurile preconizate asigurînd exploatarea de durată, pe partea de apă, a cazanelor moderne.

Bibliografie

[1] Spillner, F. *Magnetfilter zur Kondensatreinigung in Theorie und Praxis.* BWK, *21*, nr. 8, 1969.

[2] Neuhaus, A și Seifert, K. F. *Zur Nomenklatur Epitaxie — Topotaxie.* Chem. Ing. Techn. nr. 37, 1965.

[3] Kleber, W. *Einführung in die Kristallographie*, ed. a V-a. Berlin, 1961.

[4] Stanisavlievici, L. *Probleme actuale ale tratării apei și aburului în instalațiile termoenergetice.* Editura tehnică, București, 1969.

[5] Remy, A. *Lehrbuch der anorganischen Chemie.* Akademischer Verlag, Leipizg, 1965.

[6] Kirsch, H. *Phosphathaltige Ablagerungen in Hochdruck-Dampferzeugern.* Mitt. VGB, nr. 89, sept. 1964.

[7] Belous, V., Gromova, A. J. și Gherasimov, V. V. *Korrosionsverhalten von Stählen in der Damfphase aus Wässern mit verschiedenen pH-Werten.* Archiv fur Energiewirtschaft, *22*, nr. 24, 1968 (din Teploenerghetika, sept. 1968).

[8] Hammer, P., Middleton, J.H.D. și Simth S. H. *Occurence of massive magnetite formations in the unheated economizer tubes of high-pressure boilers.* Combustion, *36*, nr. 7, 1965.

[9] * * * Electricité de France. *Traitement des condensats.* Rapport PCM/67385, 1967.

[10] Balthazar, J. *Purification ionique des condensats par les filtres à résines pulverisées.* Laborelec, Bruxelles, 1970.

[11] Schoch, W. *Erfahrungen im Bau und Betrieb eines ueberkritischen Mehrwellen-Kraftwerksblockes mit doppelter Rauchgaszwischenüberhitzung.* Mitt. VGB, *48*, nr. 4, aug. 1968.

[12] Schoch, W., Richter, R. și Koehle, H. *Untersuchungen über Druckverlustanstieg und Magnetitbildung an einem Benson-Kessel mit überkritischen Druck.* Mitt. VGB, *49*, nr. 2, iunie 1969.

(Articol intrat în redacție la 28 iulie 1970)

Centrala termoelectrică— sistem de producţie cibernetic

Ing. A. Gheorghe*)

Complexitatea fenomenelor economice şi sociale şi a conducerii instalaţiilor tehnice a determinat elaborarea unei ştiinţe de sistem, capabile să sintetizeze mecanismul conducerii dintr-un punct de vedere general şi unitar: *cibernetica* [1], [2], [4].

Apărută ca disciplină de sine stătătoare, cibernetica a ajuns într-o perioadă relativ scurtă să se conecteze la o multitudine de activităţi cotidiene (în tehnică, economie, pedagogie, artă etc.), dovedindu-se deosebit de rodnică. Posibilităţile largi de analiză şi dirijare a oricărui gen de activitate, utilizînd principiile ciberneticii, atestă această ştiinţă şi ca un instrument modern eficace de conducere şi organizare în procesul de producţie industrială [3].

Un sistem cibernetic este un sistem de orice natură, a cărui caracteristică determinantă este conexiunea inversă, sau feedback [5].

Scopul acestui articol este de a analiza fenomenele complexe ce apar în funcţionarea unei centrale termoelectrice în lumina principiilor ciberneticii.

1. Analiza cibernetică a funcţionării centralei termoelectrice

1.1. *Centrala electrică — sistem cibernetic*

Ca sistem al realităţii obiective, centrala termoelectrică se defineşte printr-o structură de transformări a energiei primare a combustibilului (solid, lichid, gazos) în energie electrică, eventual şi căldură, în cadrul CET, ca produse finite.

Centrala electrică modernă este un puternic sistem de producţie interconectat la sistemul energiei primare şi la cel al consumatorului (fig. 1), solicitat să acopere necesităţile de putere şi energie ale acestuia prin curba lui de sarcină. Sarcina cerută în orice moment de consumator se apreciază ca fiind aleatorie, variind în timp după o anumită lege de probabilitate.

În cazul real de funcţionare, sistemul cen-

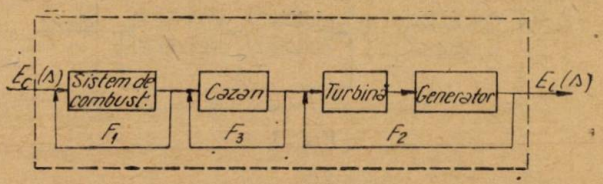


Fig. 2

tralei electrice posedă o reacţie inversă, care corespunde necesităţii ca ea să răspundă variaţiei de sarcină de la consumator, deci să se autoregleze. Această caracteristică esenţială de a funcţiona pe baza reacţiei inverse defineşte centrala ca un sistem cibernetic.

Pentru o analiză detaliată a funcţionării sistemului de producţie — centrală electrică, acesta se poate descompune în subsisteme de producţie (fig. 2, 4, 6) [8].

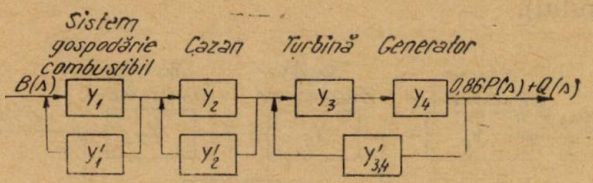


Fig. 3

Considerăm că modelul cibernetic care poate să descrie fenomenele complexe din centrala electrică trebuie să cuprindă în mod obligatoriu atît parametrii ce caracterizează funcţia sa economică (preţul de cost al kWh şi Gcal etc.), cît şi pe cei ai funcţiilor de dirijare, reglare şi ai conexiunilor ce se stabilesc cu celelalte sisteme cibernetice (furnizor de energie primară, consumator de energie electrică şi termică).

În scopul îndeplinirii obiectivului de producere a energiei electrice şi termice, pentru diri-

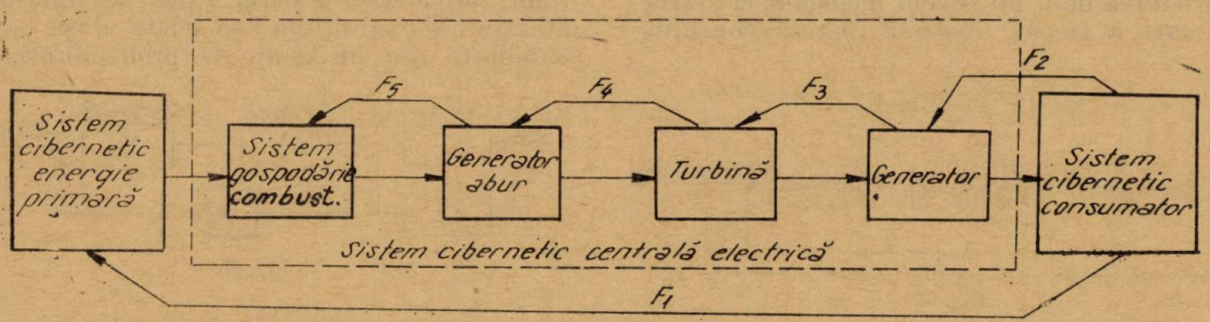


Fig. 1

*) Ing. Adrian Gheorghe este asistent la Catedra de centrale electrice a Institutului Politehnic Bucureşti.

jarea proceselor din centrala electrică un rol deosebit îl au organizarea şi dirijarea fluxului

informațional pentru asigurarea unei traiectorii optime a parametrilor decisivi ai sistemului centralei. Se impune a se dirija în direcția previzionată evoluția multitudinii subsistemelor ce intră în componența acestuia.

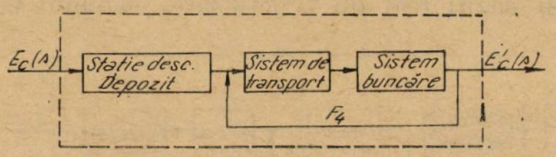


Fig. 4

1.2. *Modelarea cibernetică a funcționării centralei electrice (ca sistem de producție)*

Se notează cu $\mathcal{S}$ sistemul de producție determinat de centrala electrică. El poate fi definit prin structura de mulțimi fundamentale A, B, C, $D\ldots$ și mulțimea operațiilor. Dacă sistemul se analizează separat de restul conexiunilor sale, se introduc următoarele mărimi (fig. 7):

X_i — mulțimea elementelor de intrare;

Y_i — mulțimea elementelor de ieșire;

F — mulțimea activităților (funcțiilor sistemului).

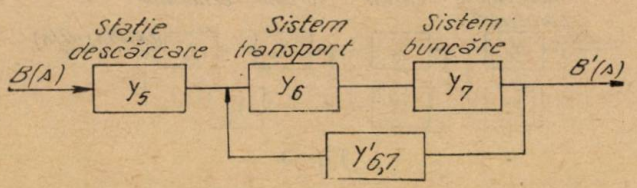


Fig. 5

În acest caz sistemul se prezintă sub forma:

$$\mathcal{S} = \{X_i,\ Y_i/F\} \qquad (1)$$

Datorită procesului real se definesc operatorii de transformare A, α, β, $\gamma\ldots$

Se face ipoteza că sistemul cibernetic al centralei electrice reprezintă un sistem evolutiv temporal, a cărui transformare operațională este întotdeauna dependentă de timp. El are proprietatea de a nu reveni niciodată la stările prin care a trecut. Această ipoteză concordă

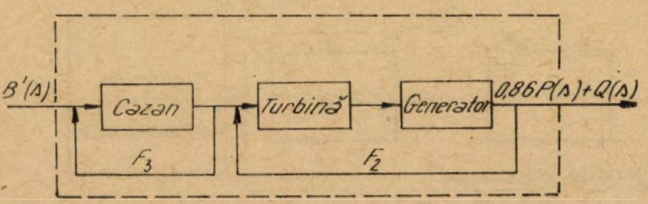


Fig. 6

în bună măsură cu realitatea obiectivă, deoarece la rîndul său consumatorul este evolutiv, iar posibilitatea ca acesta să treacă prin aceeași stare anterioară este mică. Matematic, acest lucru se poate exprima prin relațiile:

$$\mathcal{S} = \{X_i,\ Y_i/F\}$$
$$x = x_{(t)} \in X_i,\quad y = y_{(t)} \in Y_i \qquad (2)$$
$$t \in [t_0, +\infty],$$

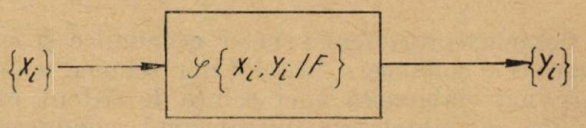


Fig. 7

iar dacă:

$$A(t_1) = A(t_2) \text{ pentru } t_1,\ t_2 \in [t_0, +\infty], \qquad (3)$$

atunci $t_1 = t_2$.

Structura operațională A a sistemului determină gradul de dezvoltare a acestuia.

La analiza detaliată a funcționării sistemului cibernetic al centralei electrice, acesta se descompune în subsisteme (al gospodăriei de combustibil, al grupului cazan-turbogenerator etc.). Clasa de subsisteme S_1, $S_2\ldots S_n$, care au funcțiile de transfer F_1, F_2, $F_3\ldots F_n$, asociate laolaltă determină sistemul cibernetic $\mathcal{S}$, cu condiția:

$$S_1 \cap S_2 \cap S_3 \cap \ldots \cap S_n \neq \emptyset, \qquad (4)$$

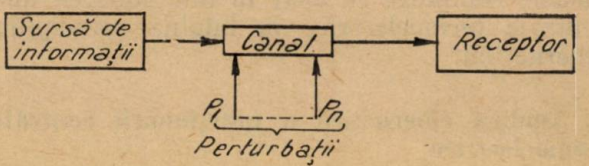


Fig. 8

unde Ø este sistemul vid **[10]**.

1.3. *Subsisteme domeniale*

Un subsistem de comunicație sau de transmitere a informației (S_i) [5] este determinat de: sursa de informații, canalul de transmitere a informației, pe care pot interveni perturbații, și elementul de recepție (fig. 8).

Datorită caracterului aleator al curbei de sarcină și al siguranței în funcționarea instalațiilor, producției oricărei surse de informație atașată unui subsistem i se poate atașa o probabilitate sau un cîmp de probabilități, de-

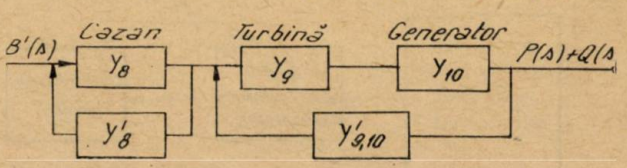


Fig. 9

pinzînd de complexitatea structurii subsistemului considerat.

Sursa de informație este cîmpul de probabilitate (X_i, F, μ), în care μ este probabilitatea

definită de F. Dacă în acest cîmp de probabilităţi vom considera cilindrul:

$$[\alpha_1 \dots \alpha_n;\ t_1 \dots t_n], \tag{5}$$

atunci numărul

$$\mu[\alpha_1 \dots \alpha_n;\ t_1 \dots t_n] \tag{6}$$

reprezintă probabilitatea ca sursa să emită semnalul α_1 la momentul t_1 şi, respectiv, α_n la t_n. Sistemul fiind evolutiv, se face ipoteza că fiecare subsistem (S_i) este în parte evolutiv.

Pentru cazul subsistemelor din figurile 5 şi 9 se scriu funcţiile de transfer (7), (8):

$$y' = \frac{B'(s)}{B(s)} = \frac{Y_5 Y_6 Y_7}{1 + Y_6 Y_7 Y'_{6,7}} \tag{7}$$

$$y'' = \frac{0{,}860\ P(s) + Q(s)}{B'(s)} = \frac{Y_8 Y_9 Y_{10}}{1 + Y_\tau + Y_\nu + Y_\tau \cdot Y_\nu}, \tag{8}$$

unde:

$$Y_\tau = Y_9 Y_{10} Y'_{9,10} \tag{9}$$

$$Y_\nu = Y_8 Y'_8 \tag{10}$$

În acest mod se poate determina cu uşurinţă funcţia de transfer a sistemului centrală electrică din figura 2:

$$y = \frac{Y_1 Y_2 Y_3 Y_4}{1 + Y_\alpha + Y_\beta + Y_\gamma + Y_\beta Y_\gamma}, \tag{11}$$

unde:

$$Y_\alpha = Y_1 Y'_1 Y_2 Y'_2; \tag{12}$$

$$Y_\beta = Y_3 Y_4 Y'_{3,4}; \tag{13}$$

$$Y_\gamma = Y_1 Y'_1 + Y_2 Y'_2. \tag{14}$$

1.4. *Funcţia de prevedere în conducerea sistemului*

O problemă deosebit de importantă constă în alegerea funcţiei de prevedere şi conducere a centralei electrice, pentru ca ea să facă faţă variaţiilor structurale de stare ale consumatorului (electric sau termic). E necesar să se analizeze ce influenţă are asupra consumului suplimentar de combustibil (energia primară) în calcul, sub forma unei reacţii inverse, influenţa gradului de siguranţă în funcţionarea sistemului.

Sistemul de producţie al centralei electrice poate fi descris, la momentul (t), ca o structură de tipul:

$$E = \{X_i,\ Y_i/A\},$$

unde A este mulţimea operaţională specifică centralei electrice.

Dacă notăm cu X_k mulţimea instalaţiilor care determină siguranţa în funcţionare şi asigură procesul de producţie, atunci descrierea simbolică este dată de:

$$E = [X_k/U, \cap, X_i, A], \tag{15}$$

în care U indică o reuniune de mulţimi, iar $\cap$, o intersecţie de mulţimi.

Structura relativă la activităţile sistemului este definită de:

$$\mathcal{S} = I \cup E, \tag{16}$$

unde I este substructura activităţilor de reglaj, iar E — substructura activităţilor efectorii.

2. Rezerva de combustibil solid la o centrală electrică

Se consideră funcţionarea în regim de bază a unei centrale termoelectrice cu combustibil solid, echipată cu n grupuri identice ca mărime a puterii instalate, dar care au grade de statism diferite.

La starea de funcţionare i, corespunzător grupului n se debitează consumatorului puterea P_n^i; funcţia de reacţie inversă se consideră egală cu unitatea (fig. 10). Semnificaţia notaţiilor din figura 10 este următoarea:

B_k este cantitatea de combustibil ce soseşte în centrală pentru a acoperi curba de sarcină şi o cotă-parte pentru formarea depozitului;

B_n^i — consumul de combustibil al grupului n la starea i;

G_{an}^i — consumul de abur al grupului n la starea i.

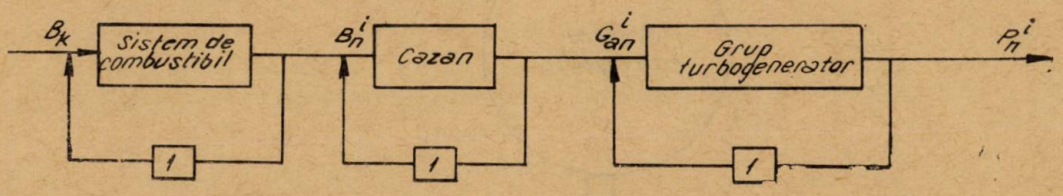


Fig. 10

funcţionarea centralei, în condiţiile în care sarcina electrică impusă de consumator are o anumită distribuţie de probabilitate în timp, diferită de cea pentru care a fost proiectată centrala. De asemenea, este necesar să se introducă

Fie o stare imediat următoare de funcţionare, j, a grupului n, cînd se cere acestuia să aducă un aport de putere pentru a acoperi curba de sarcină şi pentru a menţine constantă frecvenţa sistemului (fig. 11). Este necesar ca

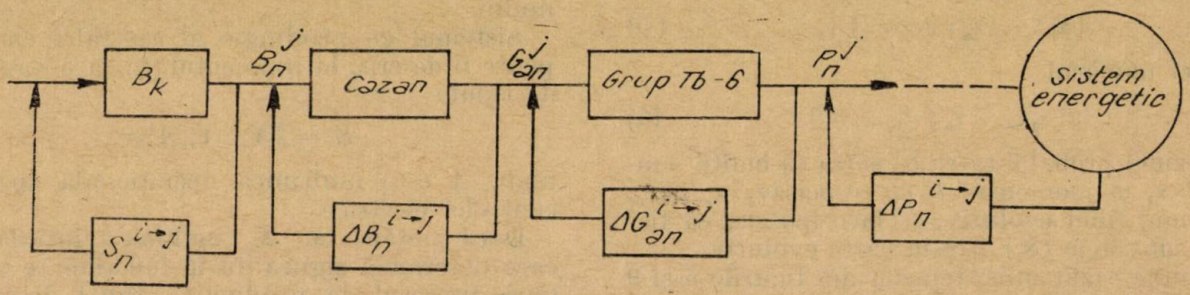

B_k
B_n^j
Cazan
G_{an}^j
Grup Tb - G
P_n^j
Sistem energetic
$S_n^{i\to j}$
$\Delta B_n^{i\to j}$
$\Delta G_{an}^{i\to j}$
$\Delta P_n^{i\to j}$

Fig. 11

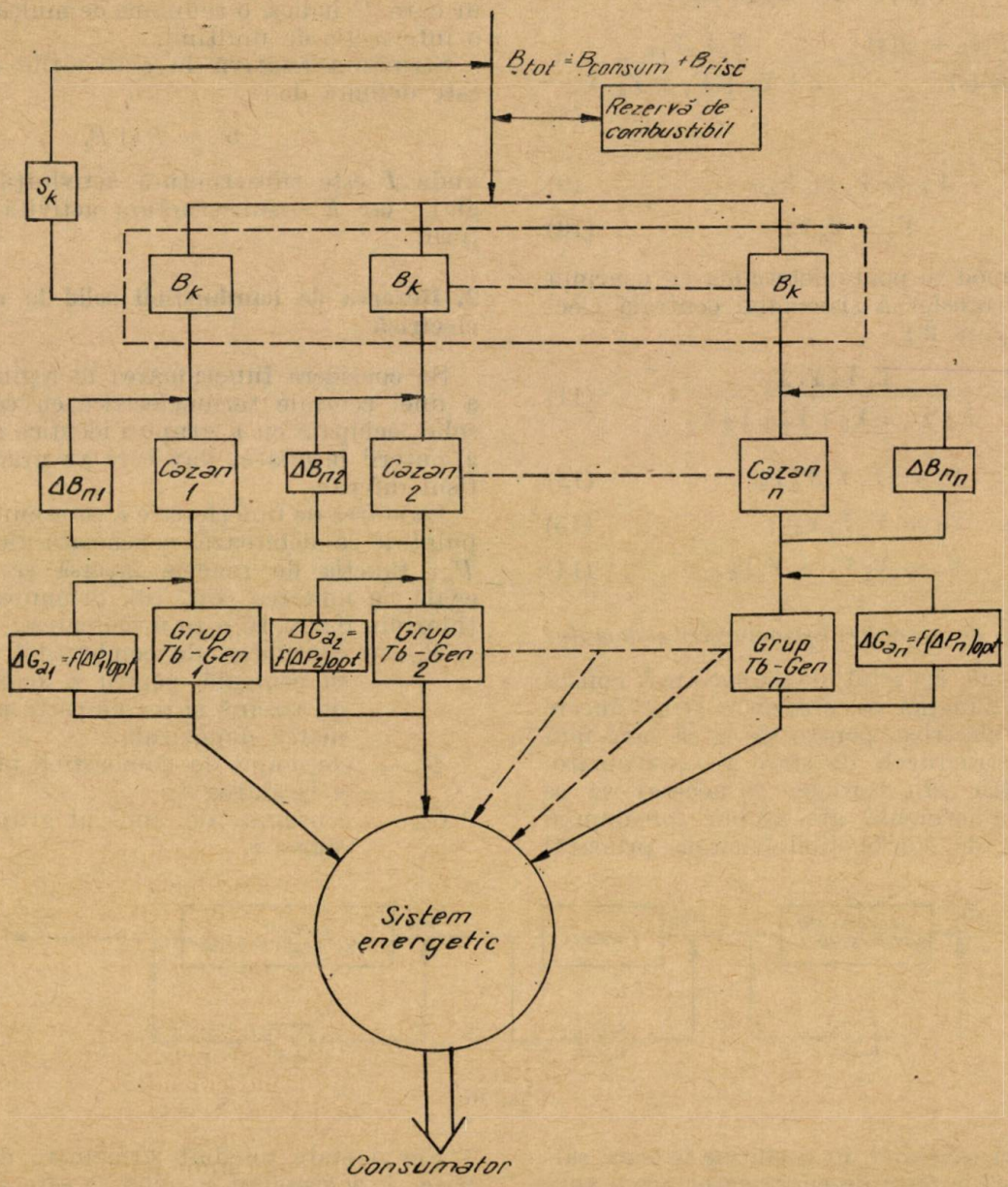

$B_{tot} = B_{consum} + B_{risc}$
Rezervă de combustibil
S_k
B_k
B_k
B_k
ΔB_{n1}
Cazan 1
ΔB_{n2}
Cazan 2
Cazan n
ΔB_{nn}
$\Delta G_{a1} = f(\Delta P_1)_{opt}$
Grup Tb - Gen 1
$\Delta G_{a2} = f(\Delta P_2)_{opt}$
Grup Tb - Gen 2
Grup Tb - Gen n
$\Delta G_{an} = f(\Delta P_n)_{opt}$
Sistem energetic
Consumator

Fig. 12

la variația de stare a sistemului din i în j să se facă o repartiție optimă a sarcinii pe cele n grupuri din centrală (fig. 12). Cota-parte de putere ce o primește centrala este :

$$\Delta P_{centr.} = (\Delta P_1)_{opt.} + (\Delta P_2)_{opt.} + \ldots + (\Delta P_n)_{opt.}, \quad (17)$$

unde $(\Delta P_k)_{opt.}$ este sarcina optimă repartizată pe grupul k.

La creșterea sarcinii consumatorului, dacă centrala nu răspunde la reacția inversă are loc scăderea frecvenței (Δf) și, deci :

$$(\Delta P_n)_{opt.} = P_n(\Delta f) \text{ [MW]} \quad (18)$$

$$\Delta P_n = \frac{\Delta f}{S_n} = \frac{\sum_1^n P_n}{S_n \sum_1^n \frac{1}{S_i}}, \quad (19)$$

unde S_i este statismul grupului i.

Variația de debit de abur necesar pentru acoperirea surplusului de putere este :

$$\Delta G_{an} = \frac{860\ \Delta P_n}{i_1 \cdot \varepsilon} \text{ [t.abur/h]}, \quad (20)$$

unde :

$\varepsilon = \frac{\eta_k}{\eta_{opt.}}$; (η_k este randamentul agregatului turbogenerator la sarcină parțială, iar η_{opt} — randamentul grupului la sarcină optimă) ;

i_1 — entalpia aburului viu corespunzătoare parametrilor (p_1, t_1).

Dacă se notează cu $k = \frac{860}{i_1}$ [kgf/kWh], atunci relația (20) devine :

$$\Delta G_{an} = k \frac{\Delta P_n}{\varepsilon} \text{ [t/h]} \quad (21)$$

Cantitatea de combustibil ce trebuie să asigure trecerea de la starea i la j este, în acest caz :

$$\Delta B_{nn} = \frac{\Delta G_{an}(i_1 - i_{al})}{H_i} \xi \text{ [t.comb/h]}, \quad (22)$$

unde :

ξ este un coeficient de funcționare la sarcină parțială a cazanului ;

H_i — puterea calorică a combustibilului de bază (rezervă) al centralei [kcal/kgf] ;

i_{al} — entalpia apei de alimentare a cazanului [kcal/kgf].

Ținînd seama de relațiile (18—22), rezultă că :

$$\Delta B_{nn}^{i \to j} = \frac{k\,\xi}{H_i\,\varepsilon} \cdot \frac{\sum_1^n P_i}{S_n \sum_1^n \frac{1}{S_i}} (i_1 - i_{al}) \text{ [t/h]}. \quad (23)$$

Sistemul cibernetic al centralei electrice trecînd de la starea i la starea j și considerînd cunoscută cantitatea de combustibil la starea i, B_{in}, rezultă mărimea acesteia la starea j :

$$B_{jn} = B_{in} \pm \frac{k\,\xi}{H_i\,\varepsilon} \frac{\sum_1^n P_i}{S_n \sum_1^n \frac{1}{S_i}} (i_1 - i_{al}) \text{ [t/h]}. \quad (24)$$

Evident, pentru întreaga centrală cantitatea de combustibil este :

$$B_j = T_{ef}^j \sum_n B_{jn} \text{ [t]}, \quad (25)$$

unde : T_{ef}^j este timpul de funcționare la starea j.

Cantitatea totală de combustibil ce trebuie adusă în centrală pentru starea j se poate scrie :

$$B_{tot}^j = B_j + B_{risc}^j \text{ [t]}, \quad (26)$$

unde B_{risc}^j este dat de o relație de forma :

$$B_{risc}^j = \sigma' \varphi \text{ [t]}, \quad (27)$$

în care :

φ este coeficient de risc și reprezintă strategia centralei (se poate deduce folosind teoria jocurilor) ;

σ' — abaterea medie pătratică.

Cunoscînd valorile cantităților de combustibil exprimate de relațiile (26—27), se poate dimensiona astfel depozitul de combustibil și, concomitent, ritmul sosirilor garniturilor CF la centrală [9].

Concluzii

Analiza detaliată a funcționării și exploatării centralei termoelectrice, a tehnologiei producerii energiei electrice și a căldurii duce la concluzia că CTE reprezintă un sistem cibernetic interconectat la alte sisteme cibernetice prin intermediul puternicei verigi a sistemului electroenergetic.

Sistemul cibernetic al centralei electrice este compus din subsisteme domeniale reprezentînd „subtehnologii" ale producției de energie finală, cuplate între ele pe baza ansamblului de conexiuni directe și inverse ce determină realizarea tendințelor obiective de evoluție a sistemului, asigurîndu-i astfel acestuia o dezvoltare dinamică și continuă.

Sistemul cibernetic atașat unei centrale electrice are drept proprietăți intrinseci cuplajul și evoluția, putînd considera astfel că, în accepțiunea cibernetică, acesta funcționează ca organism deschis. Rezultă că ele sînt supuse permanent influenței unor factori externi independenți față de evoluția însăși a sistemului. Mecanismul de reglare necesar a se atașa unui astfel de sistem cibernetic (centrale electrice) trebuie

să dea posibilitatea asigurării evoluției specifice procesului de producere a energiei (siguranță în funcționare, continuitate, livrare la cerere etc.), iar pe de altă parte să elimine perturbațiile ce ar putea apărea la conectarea cu alte sisteme (al energiei primare și al consumatorului).

Utilizînd asemenea concepte, se oferă și posibilitatea unei dimensionări optime a instalațiilor și a proceselor din cadrul centralei electrice.

Bibliografie

[1] Stafford, B. *Cybernetics and Management.* The English Universitas. Press Ltd., London, 1959.

[2] Conffignal, L. *La Cybernétique.* Press Universitaires de France, Paris, 1963.

[3] Mănescu, M. *Considerații privind aplicarea principiilor cibernetice în economie.* Studii și Cercetări de calcul economic și cibernetică economică, art. 5, 1968, p. 5—11.

[4] Beliș, M. *Direcții principale de dezvoltare a cibernetici.* Progresele Științei, nr. 10, 1968.

[5] Guiașu, S. *Aplicații ale teoriei informației. Sisteme dinamice și sisteme cibernetice.* Editura Academiei R.S.R., București, 1968.

[6] Nicolau, E. și Popovici, Al. *Cibernetica sistemelor discrete.* Editura Științifică, București, 1966.

[7] Tustin, A. *The mechanism of economic systems.* Londra, 1957.

[8] Elmaghraby, S. E. *The design of production systems.* Mc Grow Hill, New York, 1966.

[9] Gheorghe, A. *Aplicații ale teoriei șirurilor de așteptare în energetică.* Energetica, 18, nr. 1, 1970.

[10] Bîrlea, Șt. *The system concep in economie cybernetics. Economic computation and economic cybernetics.* Studies and research, nr. 4, 1969.

(Articol intrat în redacție la 28 aprilie 1970)

Recenzii

ELWOOD S. BUFFA. **Operations management. Problems and models.** (Managementul operațiilor. Probleme și modele), ediția a II-a. John Wiley & Sons, inc. New York, London, Sydney, 1968.

Cartea își propune ca obiectiv principal să prezinte un material de bază pentru cursurile de management al producției și al operațiilor în contextul utilizării metodelor analitice. Este prevăzut un spațiu considerabil pentru prezentarea problemelor specifice managementului operațiilor. Lucrarea are 745 de pagini, iar materialul este distribuit într-un număr de 8 părți (23 de capitole) și o anexă (2 capitole).

Partea I — „Introducere". Se analizează corelația dintre managementul privit ca artă și managementul modern, ajuns deja azi la rang de știință. Se prezintă schema logică a luării deciziilor și cîteva probleme fundamentale în legătură cu modelele de lucru în management (tipuri de modele, modele utilizate în carte, avantajele și dezavantajele modelelor).

În capitolul 2 se studiază problema costurilor și se prezintă un model general al investițiilor (problema generală a investițiilor, problema investiției de echipament, un model general, dezvoltarea termenilor modelului general, clasificarea modelelor).

Partea a II-a se intitulează „Managementul operațiilor" și cuprinde un număr de cinci capitole. Încă din prefață autorul apreciază că aceste capitole au o mare importanță, pentru că ele au fost scrise în intenția de a prezenta bazele conceptuale, natura problemelor și metodologia cîtorva dintre cele mai importante tehnici analitice posibil a fi aplicate, ca: control statistic, șiruri de așteptare, modele de simulare, stocuri și metode de programare.

În capitolul 3 se analizează proiectarea sistemelor operaționale pentru procesele de producție, prezentîndu-se schema logică în scopul proiectării sistemelor operaționale.

Capitolul 4 („Proiectarea și măsurarea serviciilor") prezintă la început problemele generale legate de proiectarea serviciilor, iar în continuare modele grafice și scheme pentru ordinea și fluxul muncii, standarde de producție și măsurarea muncii, sisteme de măsurare a muncii (metodele „stop — watch", de muncă simplă, timpi standard universali).

În capitolul 5 se includ aspectele de bază ale amplasării și ordinii în cadrul unui sistem de producție. Se accentuează în mod deosebit asupra procesului de amplasare pentru sistemele ce funcționează în regim intermitent.

Capitolul 6 („Planificarea operațiilor și controlul — probleme ale previziunii și stocuri") prezintă dintr-un punct de vedere unitar sistemul de producție în corelație cu controlul subsistemelor. Se face o distincție clară între sistemele continue și cele intermitente, arătîndu-se diferențierile lor specifice. Se pune accent pe probleme de previziune și stocuri optime în vederea unei bune decizii.

În ultimul capitol al părții a II-a (capitolul 8) se analizează planificarea operațiilor și controlul acestora, planul general, planificarea și controlul producției. Se accentuează asupra necesității controlului calității producției.

Partea a III-a, intitulată „Metode statistice", cuprinde un număr de patru capitole. Capitolul 8 („Analiză statistică — privire generală asupra conceptelor fundamentale") inițiază pe cititor în domeniile statisticii descriptive, accentuînd asupra distribuțiilor de frecvență și a celei normale, măsurarea distribuției și a valorii centrale, respectiv gradul de dispersie. Se dau în continuare noțiuni despre regresie și corelație, precum și despre statistica deductivă.

Modele ale controlului statistic se prezintă în capitolul 9. Se pornește de la bazele conceptuale ale graficelor de control, apoi se analizează diagramele de control pentru variabile, diagramele de control $\bar{X}$ și R, diagrame de control pentru atribuții (diagrame p) și în final diagrame de control pentru defectele pe unitate (diagrame c).

O prezentare specială se face în capitolul 10 pentru controlul de bază de eșantioane, ca o altă tehnică de control statistic.

În capitolul 11 se dau modelele statistice pentru evaluarea muncii, și anume: metodele „stop-watch" și cel al eșantionului de muncă.

Partea a IV-a se ocupă cu modelele șirurilor de așteptare. În capitolul 12, intitulat „Bazele modelelor de așteptare" sînt prezentate diferite tipuri de distribuție (Poisson și exponențială), corespunzător timpului de sosire și serviciu, modele de așteptare cu un număr infinit de consumatori, și cu număr finit, dîndu-se formulele de bază pentru calculul măsurilor ce definesc fenomenul de așteptare.

Capitolul 13 — „Șirurile de așteptare și ordonanțarea" — formulează strategii generale privind ordonanțarea și elementele directoare care fac posibil să

formulăm specific modelele operaţionale respective.

Partea a V-a — „Modele de simulare". În capitolul 14 se dau bazele întocmirii modelelor de simulare, prezentîndu-se schemele logice de întocmire a acestora. Se exemplifică prin întocmirea modelului de simulare corespunzător fluxului tehnologic pentru elaborarea oţelului, precum şi cel al amplasării obiectivelor industriale.

Capitolul 15 — „Simularea sistemului de mari proporţii" — se diferenţiază faţă de capitolul precedent prin prezenţa dimensiunilor mai mari ale obiectivelor luate spre analiză şi a modelelor cu ieşire dinamică. Se accentuează că această tehnică de simulare este actuală şi modenă.

Capitolul 16 se ocupă cu prezentarea modelelor secvenţiale pentru balanţe şi planificare.

Partea a VI-a este destinată analizei modelelor de stocuri. În capitolul 17 se prezintă modelele elementare de stocuri. Se porneşte de la analiza funcţiilor stocurilor, obiectivele de management şi costurile acestora, urmînd modelele clasice de stocuri pentru care se dau relaţiile de calcul corespunzătoare. În capitolul 18 se lansează ideea de incertitudine a stocurilor cu influenţele ce apar asupra politicii de stoc şi a planificării acestuia.

Partea a VII-a — „Modele de programare". Capitolul 19 se intitulează „Programarea liniară — metoda simplex" şi prezintă succesiv o interpretare grafică, o aserţiune generală a unei probleme de programare liniară, interpretare algebrică, procedeul simplex.

Capitolul 20, intitulat „Programarea liniară — metode de distribuţie", acoperă aria problemelor legate de bazele metodologice ale distribuţiei din programarea liniară.

Analiza programelor producţie-stoc se face în cadrul capitolului 21. Sînt abordate cinci tehnici ale programării sistemelor stoc-producţie: metode grafice, programarea liniară, normă de decizie liniară, metode euristice şi normă de decizie prin investigaţie.

În cadrul capitolului 22 se analizează programele-reţea, metodele programării reţelelor, metoda drumului critic, metode de reţele probabilistice, programe proiect şi controlul. În încheierea capitolului se prezintă un proiect de control în metodele analizei de reţele cu o diagramă pentru cîteva dintre fazele de control ale unui exemplu concret din industria constructoare de maşini.

Partea a VIII-a se prezintă sub forma unei sinteze. În cadrul capitolului 23 — „Sumar şi concluzie" — se face o privire retrospectivă de sinteză a materialului prezentat în volum şi conexiunile între diversele părţi ale acestuia. Anexa cuprinde două capitole: capitolul A — jocuri operaţionale; capitolul B — tabele.

Lucrarea „Operations management" are meritul că prezintă elementele de bază ale cercetării operaţionale cît şi aspectele specifice managementului modern într-o formă unitară şi accesibilă. Cartea conţine exemple şi probleme, iar fiecare capitol are la sfîrşit un număr de întrebări recapitulative. Poate fi consultată cu succes de specialiştii din domeniul organizării şi conducerii întreprinderilor, în acelaşi timp putînd fi şi o carte de bază pentru studenţi şi cei ce se ocupă de managementul producţiei moderne.

ELWOOD S. BUFFA. **Modern production management** (Managementul producţiei moderne). Ediţia a 3-a. John Wiley and Sons, Inc. New York, London, Sydney, Toronto, 1969.

Managementul pentru producţie continuă să evolueze astăzi în sensul unei abordări cantitative, ce se bazează în principal pe dezvoltarea acestuia ca ştiinţă. Ştiinţa organizării şi conducerii producţiei moderne a căpătat o mare amploare, de buna organizare a producţiei depinzînd succesul oricărei acţiuni de investiţie materială şi umană.

Lucrarea prezintă problemele actuale ce stau în faţa producţiei moderne şi modul nou de abordare a acesteia, în scopul unei activităţi integrate şi eficiente. Volumul cuprinde un număr de 795 de pagini, iar materialul este distribuit într-un număr de cinci părţi, din care ultima parte este o anexă.

Primele patru părţi cuprind un număr de 23 de capitole, iar anexa un număr de 4 capitole.

Partea I — „Introducere". Se ocupă în primul capitol de o privire de ansamblu asupra trecutului şi prezentului managementului de producţie. În continuare se trece la analiza relaţiei funcţionale dintre management şi tehnica luării deciziilor (natura deciziilor, soluţie, model), prezentînd în acelaşi timp avantajele şi dezavantajele utilizării modelelor.

În capitolul 3 se analizează detaliat funcţiile producţiei (scop şi definiţie, model descriptiv generalizat al producţiei, funcţiile operaţiilor în context, problemele managementului de producţie etc.).

Partea a II-a — „Metode analitice". În capitolul 4 se prezintă cadrul general al metodelor analitice din managementul de producţie, precum şi cîteva metode specifice (programarea liniară, şiruri de aşteptare, simularea, analiză statistică, metode euristice, modele reţea, analiză schematică şi grafică).

În capitolele 5 şi 6 se prezintă probleme legate de preţul de cost şi criteriile de alegere a unei investiţii.

Partea a III-a — „Proiectarea sistemelor de producţie". În capitolul 7 se face o analiză generală asupra proiectării produselor şi pe de altă parte a proceselor de producţie industriale şi cele nemanufacturiere.

În capitolul 8 se prezintă metodele de planificare reţea; la început este redată originea acestei metode, în continuare trecîndu-se să se analizeze pe rînd metoda PERT, metoda drumului critic, CPM, metoda combinată PERT/CPM, metode de reţea probabilistice, desfăşurarea resurselor. În finalul acestui paragraf se enumeră dificultăţile folosirii metodelor de reţea.

Capitolul 9, intitulat „Sistemul de informare în management şi automatizare", tratează modul cum lucrează un calculator digital şi aria lui de aplicare în probleme de management. Se prezintă problemele specifice ce le introduc sistemele automate integrate în procesul de luare a deciziilor.

Problemele specifice de amplasare a unei uzine folosind metode moderne de analiză şi decizie sînt prezentate în capitolul 10.

Capitolul 11 cuprinde probleme legate de amplasarea maşinilor în scopul optimizării unui sistem de producţie pentru a obţine drumul cel mai economic şi eficient.

În capitolul 12, intitulat „Proiectarea sarcinilor şi a metodelor de lucru", cititorul este introdus treptat într-o analiză clară a determinării corespunzătoare a sarcinilor ce le are de îndeplinit omul în condiţiile concrete ale mediului înconjurător industrial, precum şi condiţiile ce trebuie să le îndeplinească acesta din urmă (temperatură, umiditate, zgomot, lumină etc.).

Capitolul 13 se referă la proiectarea sarcinilor, satisfacerea acestora şi reacţia lucrătorului.

În capitolul 14 se analizează standardele de producţie şi metodele de măsurare a muncii.

Partea a IV-a — „Planificarea operaţiilor şi controlul". Se prezintă aici metodele de analiză ale stocurilor, planificarea şi controlul operaţiilor, controlul de calitate, planurile generale şi programele. Capitolul 15 prezintă problemele generale ale stocurilor, plecînd de la sistemele de control ale acestora (control cantitativ, calitativ şi controlul costului), urmînd apoi o clasificare a sistemelor producţie-stoc. În final se prezintă probleme de simulare specifice sistemelor integrate de mare proporţie.

Capitolul 16 se intitulează „Previziune şi stocuri", unde se prezintă elementele de bază pentru calculul stocurilor şi al deciziei privind alegerea mărimii acestora.

Planurile agregat (generale) şi programele sînt analizate în capitolul 17. Se pleacă de la previziunile unei planificări generale, se prezintă aspectul structural al problemei şi cîteva din metodele de luare a deciziilor pentru planificarea generală (metode grafice, metode de optimizare matematică, metode de programare euristice etc.).

În capitolul 18 se studiază problema catalogării şi controlul operaţiilor în cazul sistemelor continue şi intermitente, prezentîndu-se în acelaşi timp şi o schemă logică de analiză a operaţiilor catalogării pentru sistemele continue.

Problema întreţinerii maşinilor şi agregatelor este dată în capitolul 19.

Controlul de calitate (capitolul 20) este analizat prin cele patru faze ale sale: strategia produsului şi calitatea, calitatea şi proiectarea produsului, controlul calităţii în fabricare, controlul calităţii în distribuire, instalare şi folosire.

Se prezintă elemente ale studiului controlului de producţie şi scheme logice de calcul corespunzătoare. Se pune accent pe controlul probabilistic în industrie.

În capitolul 21 se analizează problema salariilor şi a costului muncii, plecînd de la premisa evaluării sarcinii ce o măsoară, a dificultăţii acesteia. Se dau indicaţii pentru studiul ştiinţific al abordării problemei salariilor.

Controlul şi îmbunătăţirea costurilor producţiei se prezintă în capitolul 22.

Ultimul capitol al părţii a IV-a se ocupă cu studiul managementului de producţie în tranziţie.

Partea a V-a este concepută sub forma unei anexe şi cuprinde patru capitole, după cum urmează : capitolul A — metode de distribuţie ale programării liniare ; capitolul B — metoda simplex ; capitolul C — şiruri de aşteptare ; capitolul D — tabele ale numerelor întîmplătoare.

Toate capitolele se încheie cu cîte un exemplu de calcul, iar în decursul volumului sînt prezentate exemple concrete caracteristice care să susţină afirmaţiile teoretice făcute.

Lucrarea este accesibilă, concisă, problemele teoretice fiind susţinute cu ajutorul unor exemple clare şi fără dificultăţi de urmărit.

Concepţia modernă în care sînt atacate problemele specifice conducerii şi organizării producţiei, precum şi aria mare a aspectelor caracteristice de management abordate recomandă lucrarea ca fiind deosebit de utilă.

Cartea se adresează specialiştilor din producţie în scopul formării unei vederi de ansamblu pentru o bună conducere şi organizare a procesului de producţie, cadrelor didactice din învăţămîntul superior tehnic şi economic, putînd fi consultată cu succes şi de doctoranzii şi studenţii ce se pregătesc în acest domeniu.

Asist. ing. **Adrian Gheorghe**

CONSTANTIN BUDEANU. **Introducere în microsisteme economice** (Studii documentare, seria „Probleme generale în energetică"). Oficiul de documentare energetică, Bucureşti, 1970.

Una dintre trăsăturile caracteristice ale activităţii economice în perioada actuală constă în utilizarea din ce în ce mai largă a unor metode matematice şi cibernetice, devenite instrumente indispensabile în conducerea şi organizarea acestei activităţi. Mai ales pentru unii specialişti — ingineri sau economişti — care lucrează în funcţii de conducere, devine evident că perfecţionarea continuă a muncii lor, judecată mai ales prin prisma justeţei şi eficenţei deciziilor luate, nu mai este posibilă fără însuşirea unor noţiuni de cibernetică economică, programare şi simulare matematică, planometrie şi econometrie etc.

Elaborată sub forma unui studiu documentar, lucrarea „Introducere în microsisteme economice" este destinată să faciliteze înţelegerea principiilor şi a modului de aplicare a acestor noi metode. Prin tematica abordată, prin nivelul ridicat de tratare a problemelor propuse şi prin claritatea expunerii, lucrarea poate constitui un adevărat îndreptar pentru însuşirea cunoştinţelor moderne de conducere şi organizare a întreprinderilor.

Primul capitol, conţinînd noţiuni generale asupra sistemelor, abordează diversele clasificări şi caracteristici ale acestora.

Se prezintă componentele fundamentale şi operaţiile de bază ale sistemelor, fluxurile de mărimi de intrare şi ieşire, precum şi transformările liniare elementare. În continuare sînt expuse principiile de reglare a sistemelor, îndeosebi în cazul condiţionării de factorul timp, apreciind că eficienţa unei reglări este determinată prin viteză, precizie şi siguranţă de funcţionare.

În cel de al doilea capitol, destinat prezentării sistemelor microeconomice, autorul trece în revistă diversele lor aspecte specifice, printre care : unitatea, integritatea, echilibrul dinamic etc. Prezintă interes structura unităţii acestor sisteme, considerată ca fiind caracterizată prin trei aspecte concomitente : unitatea productivă, economică şi administrativă. Sînt amintite apoi elementele care definesc sistemul, cele mai importante fiind obiectivele urmărite, factorii care alimentează desfăşurarea proceselor interne, echipamentul propriu, activităţile ce au loc şi rezultatele economice obţinute.

Analiza amănunţită a structurii sistemelor evidenţiază unele principii aplicabile în conducerea diferitelor organisme, definite cu această ocazie, cum ar fi : comisia, comitetul, consiliul. Tipurile principale de structuri sînt reprezentate grafic, în organigrame, dar analiza avantajelor şi dezavantajelor fiecăreia este tratată sumar, sub formă de tabel, fără elemente analitice. În schimb sînt explicitate mai amănunţit noţiunile de funcţiuni şi de relaţii, remarcîndu-se exemplificările legate de organizarea întreprinderilor.

Cele două laturi ale activităţii unui sistem microeconomic — procesul economic şi cel de conducere — sînt analizate în capitolul 3. Sînt prezentate pe scurt relaţiile dintre resursele şi durata unui proces economic, sub forma unor „diagrame-profil" cu diverse programări, precum şi unele elemente privind echiparea şi dimensionarea părţilor sale componente. Foarte instructivă este expunerea proceselor de conducere, unde se remarcă tratarea noţiunilor de „informaţie", „sistem informaţional" şi „decizie".

Obiectivul esenţial al oricărui sistem microeconomic, care constă în realizarea unor rezultate economice favorabile, este tratat în capitolul 4. În ceea ce priveşte obţinerea producţiei dorite — cantitativ şi ca sortimente — se pot utiliza diverse relaţii sau modele matematice, denumite funcţii de producţie. Pentru analiza factorilor care determină rezultatul se prezintă două tipuri de curbe de indiferenţă : de izoproducţie şi de izocost. În ceea ce priveşte productivitatea, cu diversele ei clasificări-elementară şi relativă ; totală, medie şi marginală etc. — ea este analizată ca rezultat al folosirii numai a două resurse, ceea ce simplifică evident problema, faţă de situaţia reală.

Ultimul capitol se ocupă de condiţii de funcţionare şi dezvoltare, aplicate la activitatea întreprinderilor. Sînt trecute în revistă noţiunile de limitări şi restricţii, insistîndu-se apoi asupra optimizării proceselor de producţie prin metoda programării liniare. Deosebit de interesant sînt expuse problemele de maximizare a beneficiului şi minimizare a costurilor. Deşi eterogen în conţinut, acest capitol conţine o serie de aplicaţii extrem de utile.

În ansamblu, lucrarea elaborată de ing. Constantin Budeanu, beneficiind de un atent control ştiinţific efectuat de ing. Laurenţiu Luca, prezintă un material de mare interes pentru un larg cerc de cititori. De remarcat modul accesibil de tratare a problemelor, precum şi utilizarea frecventă a unor analogii sugestive, care facilitează asimilarea noţiunilor prezentate, colorînd totodată expunerea. Bibliografia utilizată, deşi nu excesiv de bogată (circa 100 lucrări), conţine totuşi cele mai reprezentative lucrări apărute în ultimii ani în domeniul ciberneticii economice, cercetării operaţionale şi informaţiei. Nu ne rămîne decît să recomandăm călduros lectura acestui volum tuturor celor care doresc-aşa cum spune O. Lange — să-şi însuşească „priceperea de a gîndi cibernetic", atît de necesară în rezolvarea problemelor din ce în ce mai complexe privind organizarea şi conducerea sistemelor economice.

Ing. **D. Hîrseu**

Cronica

A doua consfătuire "Coordonarea izolației și protecția împotriva supratensiunilor"

Între 21 și 23 septembrie 1970 a avut loc la Brașov cea de-a doua consfătuire tehnico-științifică intitulată „Coordonarea izolației și protecția împotriva supratensiunilor", organizată de Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor, Ministerul Energiei Electrice și Comitetul Uniunii Sindicatelor din Întreprinderile Miniere și Energiei Electrice.

Organizarea consfătuirilor în domeniul coordonării izolației și protecției împotriva supratensiunilor este determinată de necesitatea unui schimb de opinii între cercetători, proiectanți, cadre inginerești din exploatare, pentru analizarea avariilor produse de supratensiuni în instalațiile electroenergetice, precum și pentru stabilirea celor mai corespunzătoare măsuri de protecție contra supratensiunilor. Aceste consfătuiri constituie totodată un prilej de a puncta principalele direcții de studiu în domeniul coordonării izolației și protecției împotriva supratensiunilor.

În cadrul consfătuirii de la Brașov au fost prezentate trei referate și 16 comunicări. Referatele, avînd un caracter general, au prezentat aspecte din experiența de exploatare sau de construcție.

Primul referat, intitulat „Contribuția IRME la efectuarea lucrărilor de coordonare a izolației și protecția contra supratensiunilor", prezentat de ing. P. Badea, a subliniat soluțiile preconizate de Întreprinderea pentru raționalizarea și modernizarea instalațiilor energetice (IRME) în legătură cu protecția liniilor și stațiilor electrice de înaltă tensiune contra supratensiunilor, pe baza studiilor efectuate și a experienței acumulate. Schemele de protecție propuse se înscriu în general pe linia celor recomandate de literatura de specialitate; este de menționat tendința extinderii eclatoarelor de protecție cu coarne pentru tensiuni de 110 kV și chiar de 220 kV.

Un grup de cercetători de la ICPE a prezentat referatul „Preocupări în domeniul dezvoltării cercetărilor și producției de descărcare cu rezistență variabilă indigenă", referitor la stadiul realizărilor în acest domeniu, problemele actuale și preocupările de perspectivă. S-a arătat că, în paralel cu descărcătoarele de înaltă tensiune, s-a elaborat seria unitară de descărcătoare de joasă tensiune cu caracteristici ridicate, dar se pune problema bazei materiale pentru încercarea descărcătoarelor.

Comunicările prezentate pot fi împărțite în trei grupe. Din prima grupă fac parte comunicările cu caracter general, și anume:

— „Asupra deformării undelor de supratensiuni interne pe linii lungi" (ing. M. Ungureanu și ing. P. Postolache) și „Model matematic pentru stabilirea deformării undelor de supratensiune atmosferică la propagarea lor pe linii electrice aeriene" (ing. A. Popescu și dr. ing. A. Cristovici), în care se aduc contribuții teoretice interesante privind modul de determinare a deformării undelor de supratensiuni.

— „Considerații privind utilizarea în viitor a tensiunilor foarte înalte" (prof. dr. ing. G. Drăgan); se prezintă unele probleme de perspectivă, cum ar fi forma undelor de supratensiune internă, soluții privind construcția liniilor și aparatajului de foarte înaltă tensiune, tendințe de cercetare.

A doua grupă cuprinde probleme de supratensiuni interne. Domeniul de preocupări este destul de larg, aceste comunicări referindu-se la: realizări în legătură cu aparatura de investigație a fenomenelor tranzitorii în rețelele de înaltă tensiune (ing. R. Goldenberg), aspecte ale coordonării izolației neutrelor transformatoarelor din rețelele de 110 kV (ing. A. Bratu), condițiile privind utilizarea intervalelor de protecție în rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune (ing. D. Launer ș.a.), utilizarea calculatoarelor electronice în studiul supratensiunilor interne (dr. ing. A. Cristovici ș.a.), studiul supratensiunilor de rezonanță în schemele de racord ale blocurilor linie-transformator (dr. ing. A. Cristovici ș.a.) etc.

A treia grupă se referă la supratensiuni atmosferice. Problemele mai importante prezentate în cadrul acestor comunicări sînt: studiul comparativ al schemelor de protecție ale stațiilor electrice, în ipoteza utilizării diferitelor tipuri de descărcătoare (ing. N. Popovici ș.a.), determinarea unui algoritm de calcul al numărului de declanșări ale LEA, bazat pe noile teorii ale mecanismului trăsnetului (ing. D. Necșulescu), condiții de realizare în România a unui model fizic tranzitoriu (ing. Al. Ionescu și ing. D. Necșulescu).

De mentionat că întreprinderile de exploatare au avut o perzență redusă, deși comunicările lor ar fi putut prezenta un deosebit interes.

Referatele și comunicările au fost urmate de numeroase discuții, îndeosebi privitor la mijloacele concrete de îmbunătățire a comportării instalațiilor electroenergetice contra supratensiunilor atmosferice; au avut loc în total 65 de luări de cuvînt.

Referatele și comunicările, precum și discuțiile purtate pe marginea lor au permis unele concluzii interesante privind coordonarea izolației și protecția contra supratensiunilor, printre care:

— Necesitatea utilizării statisticii matematice pentru studiul fenomenelor și al mărimilor care condiționează coordonarea izolațiilor. În legătură cu aceasta, se impune efectuarea unui număr suficient de înregistrări a supratensiunilor, precum și încercări cît mai complete ale izolatoarelor.

— Extinderea utilizării calculatoarelor electronice pentru studierea supratensiunilor.

— Asigurarea unei baze materiale corespunzătoare pentru încercarea completă a descărcătaorelor cu rezistență variabilă și urgentarea omologării și fabricării acestor descărcătoare, inclusiv a descărcătoarelor de joasă tensiune de către industria electrotehnică.

— Necesitatea asigurării de către fabricile constructoare a nivelelor de izolație la toate aparatele și izolatoarele fabricate.

— Utilizarea pe o scară mai largă a descărcătoarelor de joasă tensiune în rețeaua petrolieră.

— Experimentarea de durată în rețeaua de 110 kV și 220 kV a eclatoarelor de protecție cu coarne.

— Necesitatea efectuării periodice a unui schimb de experiență și de opinii între specialiștii din diferite instituții în problema coordonării izolației și protecției contra supratensiunilor atmosferice.

Cea de-a II-a consfătuire privind coordonarea izolației și protecția împotriva supratensiunilor, ca și prima consfătuire, organizată în anul 1968, a fost utilă, cu rezultate pozitive. Participanții au propus organizarea în 1972 a celei de-a treia consfătuiri cu aceeași tematică.

Prof. dr. ing. G. Drăgan

Informații tehnice

În Japonia, la Oarai, s-a deschis un centru de cercetări pentru reactoare. Centrul de greutate al cercetărilor îl constituie reactoarele cu apă fierbinte moderate cu apă grea, al căror prototip de 165 MW_e urmează a fi pus în funcțiune în 1970. De asemenea, sînt în curs cercetări pentru dezvoltarea reactoarelor cu regenerare rapidă și răcire cu natriu.

(Atomwirtschaft-Atomtechnik, nr. 6, 1970, p.247–255)

Rheinische Draht- und Kabelwerke (R. F. a Germaniei) a realizat un nou cablu cu izolație de polietilenă pentru o tensiune de exploatare de 20 și 30 kV. Izolația de polietilenă, modificată chimic printr-o metodă specială, diferă de materialul folosit pînă în prezent în tehnica cablurilor prin aceea că are o mare stabilitate la temperaturi înalte. Cablul cu noua izolație poate fi folosit la sarcini mari și posedă o rezistență sporită la scurtcircuite termice mari. Montarea și racordarea lui sînt facilitate de greutatea redusă, diametrul mic, raza mică de îndoire și utilizarea racordurilor mici.

(VDI–Z, nr. 5, 1970, p. 329–331)

În Finlanda s-a creat o industrie proprie pentru construirea de centrale nucleare. Primul reactor, de 700 MW, va fi instalat lîngă lacul Paljaenne, la 190 km nord de Helsinki.

(ETZ–B, nr. 5, 1970, p. 106–107)

După un brevet englezesc, pentru evitarea depunerilor de brumă și de chiciură se încălzesc liniile de înaltă tensiune. O înfășurare din material feromagnetic, cu un punct Curie între 2 și 13°C, acționează asupra liniei ca bobină secundară a unui transformator, cea primară fiind chiar linia. Capetele înfășurării sînt legate cu linia. Cînd temperatura scade sub punctul Curie al materialului feromagnetic, se naște o tensiune indusă. Căldura produsă de curentul electric împiedică depunerea brumei și a chiciurii pe linie.

(Elektrie, nr. 7, 1970, p. 130)

După statistica UNIPEDE, în anul 1967 consumul de energie pe cap de locuitor înregistrat în 12 țări a fost următorul :

Țara	Consumul total, milioane kWh	Populația, milioane locuitori	Consumul pe cap de locuitor, kWh/locuitor
Norvegia	51 352	3,8	13 500
Canada	173 800	20,7	8 390
Suedia	53 220	7,8	6 750
SUA	1 314 096	197,9	6 640
Elveția	24 438	6,0	4 080
Anglia	196 346	55,4	3 545
Islanda	706	0,2	3 530
R.F.G.	179 489	59,87	3 000
Austria	19 132	7,323	2 610
Japonia	234 419	100,2	2 345
Franța	114 200	50,0	2 290
Italia	95 459	52,2	1 830

Se prevede ca, pînă în 1980, în Mexic să fie instalate centrale nucleare cu o capacitate totală de 2000 MW. La începutul anului 1969, puterea totală a centralelor electrice din Mexic a fost de 6400 MW_e. După calculele CFE (Comision Federal de Electricidad), în 1973, prin noile construcții, puterea va crește la 10500 MW, în 1980 la 16000 MW și în 1990 la 37000 MW.

Firma Westinghouse a făcut cunoscut că în viitor va oferi centrale nucleare care în exploatare normală nu vor produce radioactivitate. Acest lucru este valabil pentru cripton, care este concentrat și este trimis ca deșeu, și pentru tritiul, care are deșeu puțin și poate să rămînă în mediul de răcire primar. Costul suplimentar este de circa 1 $/kW.

(Atomwirtschaft-Atomtechnik, nr. 6, 1970, p.247–255)

Brown Boveri din Mannheim (R. F. a Germaniei) construiește turbogeneratorul de 294 MVA pentru centrala electrică „Puerto Nuevo" din Argentina. Statorul turbogeneratorului are diametrul de 4 m, lungimea de 10 m și greutatea de 257 Mp.

(VDI-Z, nr. 5, 1970, p. 329–331)

La Roopur, în Pakistanul de Est, se construiește o centrală nucleară de 200 MW, care va costa circa 68,3 milioane $, urmînd să intre în funcțiune în 1973–1974. Construcția este realizată de o firmă belgiană.

Încă două centrale nucleare AGR urmează a fi construite în Anglia, astfel încît totalul centralelor nucleare englezești de acest tip se va ridica la 15. Una dintre noile centrale se construiește la Heysham, cu două reactoare avînd în total 1320 MW. Costul va fi de 95 milioane £. Punerea în funcțiune este prevăzută pentru anul 1975; a doua centrală, la Sizewell, va avea 2640 MW și va costa circa 180 milioane £.

(Atom und Strom, nr. 2, 1970, p. 38–43)

Construcția primului reactor nuclear din S.U.A. cu rezervor de presiune din beton pretensionat a ajuns la jumătate. Acest reactor, avînd un randament de 40%, va acționa un generator de 330 MW de la centrala nucleară Fort St. Vrain (Colorado) și urmează a fi terminat în 1972.

(ETZ-B, nr. 5, 1970, p. 106–107)

Înaltul comisar francez pentru energia atomică a făcut cunoscut că în Franța se va construi o a doua fabrică de D_2O. Această fabrică, prevăzută cu aceeași tehnologie ca și prima, va avea capacitatea de 1000 t/d.

Potrivit unui raport comunicat de USAEC, la finele anului 1969 rezervele de uraniu din SUA au fost de 97 milioane tone, cu un conținut mediu de 0,21% U_3O_8.

(Atomwirtschaft-Atomtechnik, 1970, nr. 6, p. 247–255)

După doi ani de construcție, Preussenelektra din Hanovra (R. F. a Germaniei) a pus în serviciu prima sa linie de 380 kV. Din cei 350 km de linie ce leagă termocentrala „Robert Frank" cu termocentrala „Standinger", BBC a construit 116,5 km. Pînă în 1971 se vor termina prelungirile înspre nord, în regiunea Hamburg, și înspre sud, în regiunea Ruhr. La această nouă linie „nord-sud" se va racorda și centrala nucleară „Würgassen", care urmează a fi gata în 1972.

(VDI-Z, nr. 5, 1970, p. 329–331)

Institutul unional de cercetări energetice și Energosetiproiect au realizat în colaborare un nou model automat de sistem energetic, AMES-2, conceput pe baza combinării elementelor unui model de rețea de curent alternativ cu un calculator analogic. Structura modelului cuprinde un bloc de model de rețea, un bloc care modelează ecuațiile nodurilor cu generatoare, un bloc convertizor de curent continuu, care redă unghiurile de defazaj, un bloc convertizor al unghiurilor de defazaj în curent alternativ, precum și blocuri de modelare a sarcinilor sistemului energetic cu blocurile aferente pentru convertirea curentului continuu în unghiuri de defazaj și convertire în curent alternativ.

Avantajul cel mai important al noului model este faptul că funcționează automat, avînd inclus și un bloc de programare automată. De asemenea, faptul că se folosește principiul rezolvării ecuațiilor diferențiale ale generatoarelor și sarcini în serie permite reducerea elementelor de calcul analogice și o creștere considerabilă a stabilității. Modelul a fost experimentat și se produce în serie unică de către Institutul de cercetări energetice din Armenia.

(Electriceskie stanții, nr. 9, 1970, p.2–7)

În URSS a fost experimentată și pusă în exploatare, din anul 1968, metoda spălării sub tensiune a izolatoarelor de înaltă și foarte înaltă tensiune (220–500 kV). Instalația folosește duze de 5–6 mm diametru, sub presiune de 15–25 kgf/cm^2 a jetului de apă. Pentru linii de 220 kV, lungimea minimă a jetului trebuie aleasă de 4 m, iar pentru 500 kV, de 6 m. Rezistivitatea apei utilizate nu trebuie să scadă sub 700 ohmi.cm.

Operatorul se află într-o cușcă Faraday pe platforma telescopică, echipat cu cizme și cu mănuși de cauciuc. Mînerul duzei și platforma sînt legate la pămînt în timpul lucrului.

Consumul de apă pentru un lanț de izolatoare de 7—12 elemente este de 25—40 l, iar pentru lanțuri de 25—30 elemente, de 70—100 l. Timpul necesar pentru spălarea unui lanț de 7 elemente este de 15—25 s, la 12 elemente, de 30—40 s, iar la 25—30 elemente de 1—1,5 min, ceea ce, față de ștergerea cu cîrpa (fără tensiune), înseamnă o economie de timp deosebită.

Ștergerea unui lanț de 7 elemente durează 6—8 min, iar a unui lanț de 30 elemente circa 40 min.

Primele experiențe au fost efectuate pe linia de 500 kV Pahra-Ciagino din sistemul Mosenergo, folosind pentru realizarea presiunii o turbopompă TN-1,6.

(Elektriceskie stanții, nr. 8, 1970, p. 46—48)

Cercetări recente efectuate pentru verificarea protecției împotriva supratensiunilor stațiilor de 750 kV din U.R.S.S. au scos la iveală faptul că metodologia de calcul a zonelor periculoase, prevăzută în îndrumarele de calcul în vigoare, poate duce la subaprecieri mergînd pînă la 300%. Neluarea în considerare a anumitor factori care apar la linii de foarte înaltă tensiune (330—750 kV) influențează exactitatea calculelor în următoarele limite, care se cumulează :

— neglijarea tensiunii de serviciu : 10—60%;

— inductanța descărcătorului cu rezistență variabilă : 30—70%;

— conductoarele jumelate pe fază : 54%;

— forma undei care ajunge în stație : ± 30%.

Pe baza acestor cercetări s-a pus în fața industriei electrotehnice sarcina micșorării inductanței interne a descărcătoarelor de tip RVM folosite la protecția stațiilor de 330, 500 și 750 kV. În același timp s-a propus modificarea metodologiei de calcul folosite în prezent pentru calculul protecției împotriva supratensiunilor a stațiilor de 330—750 kV, în sensul luării în considerare în calcul a celor patru elemente indicate mai sus.

(Elektriceskie stanții, nr. 8, 1970, p. 52—56)

Vasul reactorului cu apă grea de 319 MW pentru centrala nucleară argentiniană de la Atucha va fi livrat abia în martie 1971, cu o întîrziere de jumătate de an. Grosimea pereților acestui bazin, de 60 pînă la 70 cm, a ridicat probleme la execuție. Firma producătoare, Siemens, consideră că instalația va fi totuși gata la data planificată, adică în iunie 1972, cînd se prevede să producă energie electrică.

Forurile atomice italiene (CNEN) au comandat consorțiului SIPEC (SNAM Progeti și Societa Italiana Impianti) un reactor de încercare (PEC) de 140 MW pentru verificarea elementelor combustibile pentru regenerare rapidă. Reactorul va fi dat în funcțiune în 1975, la Bologna, pe lacul Brasimone.

Centrala nucleară Oyster Creek din S.U.A., cu reactor cu apă fierbinte, de 540 MW, a fost oprită la 19 aprilie, pe timp de o lună, pentru a se schimba garniturile la comanda hidraulică de reglaj. Cu această ocazie au fost demontate și revizuite 137 angrenaje, operație care trebuia făcută în toamnă. S-a procedat la această devansare pentru a se preîntîmpina riscul unei defectări în vară, cînd se înregistrează consumul de vîrf. Oyster Creek a produs pînă în prezent peste 10 TWh.

La 17 din cele 90 centrale nucleare în proiect și în funcțiune în S.U.A. sînt prevăzute turnuri de apă de răcire, din cauza limitării încălzirii apelor curgătoare. Costul de exploatare în cazul turnurilor de răcire crește cu 5%.

Brown Boveri montează acum la centrala daneză Skaerbaerk un turbogenerator de 300 MVA complet răcit cu apă. În comparație cu generatoarele răcite cu hidrogen, cele răcite cu apă au avantaje importante : pierderi mai mici și carcase mult mai simple. De asemenea, sînt suficiente temperaturi mai mici de răcire și mai puține etanșări la carcasă. În Anglia s-a prevăzut un rotor răcit cu apă la un grup de 500 MW de la West Burton.

(Brennstoff—Wärme—Kraft, nr. 6, 1970, p. 315—317)

În anul 1969 s-au instalat în Anglia peste 510000 sobe electrice cu acumulatoare, adică cu 24% mai mult decît în anul 1968.

Spania are în proiect două centrale nucleare, fiecare cu cîte două reactoare și cu o putere totală de 2000 MWe. Se prevede că industria spaniolă să livreze 45% din furnituri. Una din centrale se va construi la Almarez, cu intrarea în funcțiune prevăzută pentru 1797, iar a doua la Leminiz, primul grup fiind prevăzut să intre în funcțiune în 1979.

În Japonia sînt proiectate 38 centrale nucleare, avînd un total de 27 500 MW, cu intrarea în funcțiune prevăzută între anii 1970 și 1981.

Esso Research și Babcock Wilcon încearcă o metodă de curățare de fum, sulf și praf a gazelor provenite de la 16 întreprinderi de alimentare cu energie electrică din S.U.A. Prin această metodă se îndepărtează 99% din particulele de praf și 90% din cele de sulf.

(ETZ—B, nr. 6, 1970. p. 128—129)

În Australia se construiește CTE Liddell de 2000 MW. Primul bloc, de 500 MW, va fi gata în 1972, iar celelalte pînă în 1974. Cazanul este construit de International Combustion (Australia). Investiția va costa 100 $ /kW.

În Filanda s-a înființat o întreprindere „Teollisunden Voima Oy", pentru construirea unei centrale nucleare de 700 MWe care urmează să fie pusă în funcțiune în 1975.

(Energie, R. F. a Germaniei, nr. 6, 1970, p. 209—210)

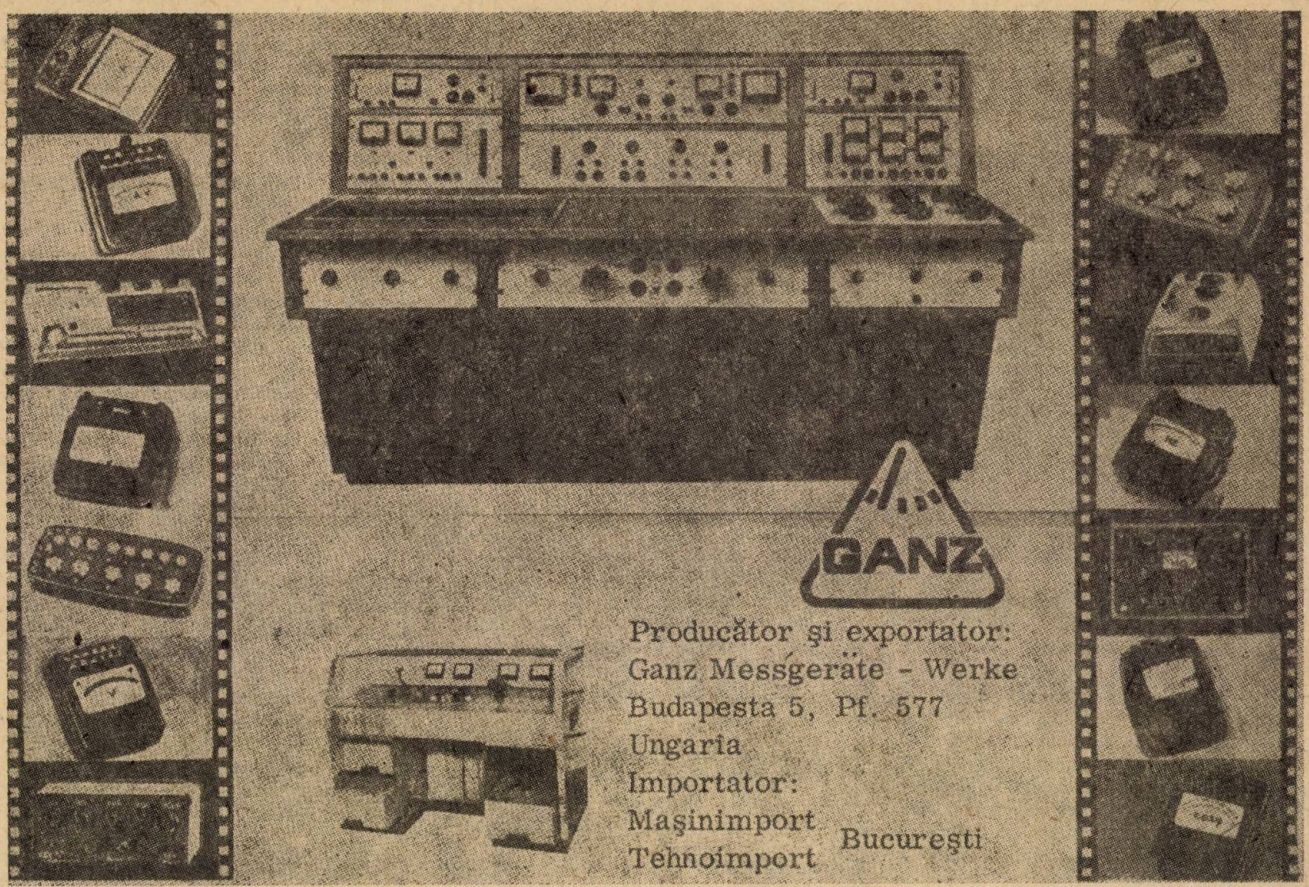
Pentru a face față creșterii consumului de energie electrică, Elveția, ca țară săracă în combustibili clasici și avînd amenajate majoritatea surselor hidroenergetice eficiente din punct de vedere economic, trebuie să recurgă intens la energia nucleară. Prima centrală nuclearoelectrică, Beznau I, a întreprinderii NOK (Nordostschweizerische Kraftwerke A. G.) a fost pusă în funcțiune în 1969. Aceasta este echipată cu un reactor cu apă sub presiune avînd puterea nominală de 350 MWe, capabilă să producă, la 80% sarcină nominală, 2,5 TWh/an, ceea ce reprezintă circa 10% din cererea anuală de energie electrică a țării. Totodată, o centrală geamănă cu cea menționată, Beznau II, a întreprinderii BKW (Bernische Kraftwerke A. G.), va fi dată în exploatare în 1972. Între timp au avansat și lucrările centralei nuclearoelectrice Mühlberg, de 306 MWe, cu reactor de același tip. Aceste lucrări urmează a fi terminate în 1971.

Pentru completarea necesităților de putere electrică pînă în iarna 1975—1976, cînd practic toate cererile noi vor trebui acoperite din surse nuclearoelectrice, Departamentul federal pentru Transporturi și Energie Electrică a mai aprobat proiectele a două centrale noi, care vor fi amplasate la Kaisersaugst și Leibstadt. Dintre acestea, mai avansată este centrala Kaisersaugst (prevăzută a fi pusă în funcțiune după cele două centrale Beznau și centrala Mühlberg), care va fi echipată cu un reactor cu apă fierbinte de 850 MWe. Centrala Kaisersaugst urmează să intre în funcțiune în toamna anului 1975.

Proiectul centralei Leibstadt, prevăzută inițial pentru 600 MWe, este în curs de refacere. S-a inițiat o regrupare a partenerilor interesați la această centrală, dîndu-se prioritate participanților elvețieni, prin firmele Aare-Tessin A. G. für Elektrizität (Olten-Solothurn), Motor-Columbus A. G. für Elektrische Unternehmen (Baden-Aaargau), precum și centralele electrice ale orașelor Basel, Berna și Zürich. Grupa de întreprinderi citate a mai planificat o centrală nuclearoelectrică la Gösgen (Solothurn), pe rîul Aare. S-a mai urmărit introducerea producerii de energie nuclearoelectrică și de către Societățile de Electricitate din vestul Elveției, în cadrul S. A. L'Energie de l'Ouest-Suisse, din Lausanne, în care sens se întrevede amplasamentul pentru un prim proiect la Verbois, pe Rhône, în aval de Geneva. De asemenea, întreprinderile BKW și NOK și-au asigurat în prealabil amplasamente pentru alte centrale nuclearoelectrice : La Graben, pe Aare (BKW), la Rüti-Sanktgallen și la Rheinkligen-Thurgau (NOK).

În ceea ce privește exploatarea uraniului în Elveția, conform programului de lucru stabilit de Comisia de specialitate respectivă s-a continuat explorarea zonelor din Isérables (Valois), Trun (Graubünden) și a formației de piatră „Verrucano" dintre Walensee și Rinul superior. Concluziile sînt că minereurile conțin uraniu sub limita admisibilă pentru o exploatare eficientă.

(După Raportul anual al Uniunii Elvețiene pentru energia atomică, S.V.A. Berna, „Schweizerische Bauzeitung", nr. 32, august 1970, p. 729—731).



Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redactia: Bucureşti, str. Galaţi nr. 5—7, Sectorul II; Tel. 136683; 130053. Instituţiile pot achita abonamentele pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul nostru de virament: nr. 30.01 01.00 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri lei 30 anual. Preţul unui exemplar lei 5.

Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967

I.P.I. — c. 5911

41 401

E 2039

Cuprinsul revistei „Energetica" vol. 18 (1970)

I. Editoriale și articole de fond

1. Groza, O.: *Editorial*, nr. 1, p. 1—2.
2. Bălan, Gh.: *Activitatea IRME în cei 10 ani de la înființare*, nr. 3, p. 101—107.
3. Stăncescu, I. D.: *20 de ani de la primul plan decenal de electrificare*, nr. 11, p. 477—478.

II. Energetică generală

1. Panaitescu, G., Costin, E., Manolescu, G. și Dincă-Panaitescu, M.: *Aspecte ale dezvoltării energiei electrice în România. Dezvoltarea electrificării țării în perioada 1921—1950*, nr. 1, p. 3—9.
2. Nitu, V. I., Goldenberg, C., Mișu, N., Lup, L., Rosinger, E. și Vlădescu, A.: *Stabilirea nivelurilor de putere și a rezervelor sistemului energetic în perspectivă. Stadiul actual al tratării acestor probleme în ISPE*, nr. 1, p. 10—17.
3. Nitu, V. I.: *Orientarea în viitor a proiectării instalațiilor energetice din România*, nr. 5, p. 189—197.
4. Nitu, V. I., Oprișan, Gh., Petrescu, A. M., Stein, M. și Trifu, C.: *Metodă de calcul al siguranței în funcționare a blocurilor energetice de mare putere*, nr. 8, p. 333—342.
5. Vlad, Al.: *Probleme actuale și perspectiva dezvoltării electroenergeticii*, nr. 10, p. 429—433.
6. Țenescu, M.: *Concepția actuală privind utilizarea grupurilor de mare putere pentru preluarea sarcinilor de vîrf*, nr. 10, p. 444—451.

III. Termoenergetică

1. Rădulescu, M.: *Regimul termic al supraîncălzitorului la cazanul de 420 t/h cu circulație naturală*, nr. 2, p. 53—58.
2. Nicolau, I.: *Îmbunătățiri la sistemul de reglare al turbinei de 50 MW*, nr. 2, p. 58—59.
3. Ungureanu, C., Neiss, Fr. și Popovici, M.: *Unele probleme ale proiectării injectoarelor de păcură folosite la cuptoarele rotative de clincăr*, nr. 2, p. 66—71.
4. Pavnotescu, O., Popescu, R. și Mirescu, D.: *Arderea combustibililor gazoși și lichizi*, nr. 3, p. 108—111.
5. Crîsnic, T.: *Realizări ale IRME în domeniul automatizărilor instalațiilor termice*, nr. 3, p. 131—134.
6. Oancea, N. și Jădăneanțu, M.: *Tendințe noi în construcția turnurilor de răcire mari*, nr. 4, p. 149—155.
7. Oancea, N.: *Influența sistemului de coordonate asupra relațiilor dintre invarianți la examinarea proceselor termice din turnurile de răcire peliculare*, nr. 5, p. 198—201.
8. Gionca, B.: *Regimurile de pornire și probleme specifice de exploatare pentru grupurile de 200 MW de la centrala termoelectrică Iernut*, nr. 6, p. 237—240.
9. Popa, B.: *Influența naturii combustibilului asupra repartiției presiunii în injectoarele cu cameră turbionară*, nr. 6, p. 241—243.
10. Istrate, I.: *Considerații asupra modului de determinare și interpretare a frecvențelor dinamice la paletele de turbină*, nr. 6, p. 244—249.
11. Muntean, I.: *Inerția termică a elementelor de conducte din instalațiile termomecanice*, nr. 7, p. 293—297.
12. Nabijovici, A.: *Determinarea diametrului optim al conductei de aspirație a pompei de alimentare în cazul schemelor-bloc*, nr. 7, p. 298—301.
13. Oancea, L. și Nicu, Vl.: *Metodă de stabilire a ecuației de consum a turbinelor cu termoficare și folosirea acesteia la repartiția optimă a sarcinilor pe unități*, nr. 8, p. 349—353.
14. Ionescu, C.: *Construcții noi de schimbătoare de căldură*, nr. 10, p. 452—459.
15. Popa, B.: *Procesul de reglare a debitului la injectoarele cu cameră de turbionare*, nr. 11, p. 479—482.
16. Istrate, I.: *Contribuții la echilibrarea rotoarelor turbogeneratoarelor de mare putere*, nr. 11, p. 483—489.
17. Staicu, C.: *Consumul de abur al ejectorului pentru condensator*, nr. 12, p. 538—540.
18. Stanisavlievici, L.: *Considerații privind stratul protector de „magnetită" în cazane de presiune înaltă*, nr. 12, p. 540—544.

IV. Electroenergetică

1. Zickman, M.: *Nesimetrii de curenți în statorul generatorului trifazat în cazul dispoziției nesimetrice a barelor de legătură între generator și transformatorul ridicător*, nr. 1, p. 24—33.
2. Grigoriu, G. și Gritsch, H.: *Optimizarea structurii rețelelor electrice orășenești*, nr. 2, p. 72—80.
3. Moraite, G., Cereșanu, C., Gheorghe, O. și Velicu, St.: *Probleme privind continuitatea în funcționare a grupurilor generatoare de putere unitară mare*, nr. 2, p. 80—86.
4. Drăghici, I.: *Determinarea momentului optim al modificării rețelelor de distribuție a energiei electrice*, nr. 2, p. 87—91.
5. Radian, V.: *Telemecanizarea stațiilor electrice de transformare și distribuție*, nr. 3, p. 112—117.
6. Săndulescu, V.: *Telecomunicații pe liniile de energie electrică*, nr. 3, p. 134—139.
7. Constantinescu, Gh.: *Folosirea radiotelefoanelor în sistemul electroenergetic*, nr. 3, p. 140—142.
8. Bistriceanu, M. și Stroe, G.: *Îmbunătățirea posibilităților de acordare a regulatoarelor sistemului MZTA prin modificări aduse circuitului de reacție secundară*, nr. 4, p. 156—159.
9. Ene, M.: *Considerații privind bazele teoriei rețelelor electrice*, nr. 4, p. 159—165.
10. Porțeanu, M.: *Blocajul electric cu circuite logice tranzistorizate pentru acționarea întreruptoarelor și separatoarelor din centrale și stații electrice*, nr. 4, p. 166—169.
11. Zimand, R.: *Contribuția IRME la introducerea curentului operativ-alternativ*, nr. 4, p. 170—179.
12. Popovici, N., Popescu, A. și Cristovici, A.: *Metodă și program de calcul al parametrilor liniilor electrice aeriene trifazate*, nr. 5, p. 202—209.
13. Bogoevici, N.: *Calculul valorilor medii pătratice ale unor mărimi energetice la sistemele electrice liniare în care au loc procese aleatorii staționare*, nr. 5, p. 209—214.
14. Crișan, O.: *Reprezentarea matricială a ecuațiilor de funcționare a transformatoarelor trifazate*, nr. 5, p. 215—218.
15. Nemeș, M.: *Unele aspecte ale propagării undelor pe linii electrice aeriene*, legate de uniformitatea deschiderilor, nr. 5, p. 219—222.
16. Andrei, T., Laszlo, T. și Mihăileanu, C.: *Aspecte noi în problema combustibilității cablurilor electrice*, nr. 5, p. 223—228.
17. Mihăileanu, C.: *Circuitul echivalent al multipolului liniar activ față de toți polii săi*, nr. 6, p. 250—256.
18. Ghenzbraun, I.: *Folosirea descărcării automate a sarcinii la scăderea frecvenței în sistemul energetic*, nr. 6, p. 256—261.
19. Sufrim, M. și Necșulescu, D.: *Influența conductorului de protecție asupra dimensionării prizelor de pămînt de la stîlpii LEA de foarte înaltă tensiune*, nr. 6, p. 261—269.
20. Kelemen, A., Mihoc, D. și Crivi, M.: *Considerații asupra unor sisteme de excitație pentru generatoare sincrone*, nr. 7, p. 301—305.
21. Crețu, Gh.: *Considerații privind autopornirea motoarelor sincrone de mare putere*, nr. 7, p. 306—314.
22. Tarnavschi, Ș.: *Dezvoltarea rețelelor urbane de înaltă și medie tensiune*, nr. 8, p. 358—362.
23. Ivașcu, C.: *Instalații de laborator pentru studiul unor probleme de protecție prin relee*, nr. 8, p. 363—368.
24. Dimo, P.: *Anagraful*, nr. 9, p. 377—382.
25. Groza, L.: *Urmărirea funcționării agregatelor mari în sistemul electroenergetic, cu referire specială la stabilitatea statică*, nr. 9, p. 383—387.
26. Moraite, G.: *Vizualizarea comportării grupurilor generatoare în regimuri dinamice simulate prin folosirea calculatoarelor de proces*, nr. 9, p. 387—390.
27. Ionescu, S.: *Reprezentări nodale pentru analiza stabilității statice cu considerarea influenței reglajului de tensiune*, nr. 9, p. 390—396.

28. Nitu, V. I.: *Influența siguranței în alimentarea cu energie electrică și căldură asupra calculelor economice în domeniul energetic*, nr. 9, p. 396—404.
29. Drăgan, G.: *Utilizarea metodei spectrale pentru studiul propagării undelor de tensiune în cazul unor scheme de protecție contra supratensiunilor atmosferice*, nr. 9, p. 404—407.
30. Crișan, O.: *Determinarea numerică a caracteristicilor electrice ale lanțului de izolatoare*, nr. 9, p. 408—413.
31. Goia, L. M.: *Protecția împotriva tensiunilor accidentale în instalațiile de joasă tensiune*, nr. 9, p. 414—420.
32. Albert, H.: *Analiza siguranței în funcționare a rețelelor electrice*, nr. 10. p. 460—463.
33. Drăgan, D. și Nicolae, N.: *Determinarea parametrilor funcției de transfer echivalente a ansamblului regulator automat de tensiune-excitație, cu ajutorul calculatorului analogic*, nr. 10, p. 463—467.
34. Rothman, A.: *Ameliorarea algoritmului de programare dinamică discretă S-optimală. Aplicație la planificarea rețelelor electrice*, nr. 10, p. 468—472.
35. Carabulea, A.: *Algoritm pentru studiul influenței rețelelor electrice trifazate asupra circuitelor de telecomunicații*, nr. 11, p. 490—494.
36. Giosan, Tr.: *Compensarea liniilor de energie electrică*, nr. 11, p. 495—497.
37. Costin, Em.: *Optimizarea dezvoltării rețelelor electrice urbane prin programare dinamică*, nr. 12, p. 521—526.
38. Bunea, C., Duma, M. și Petroianu, Al.: *Calcule operative de dispecer pentru verificarea siguranței de funcționare a sistemului energetic. Simularea pe calculator a efectelor manevrelor în rețeaua de înaltă tensiune*, nr. 12, p. 527—533.
39. Albert, H. și Bogan, M.: *Condiții și criterii de siguranță pentru determinarea structurii rețelelor de distribuție urbană de medie tensiune*, nr. 12, p. 534—538.

V. Hidroenergetică

1. Focșa, Vl., Gilbert, A. și Vasiliu, Al. *Închiderea definitivă a Dunării la construcția Sistemului hidroenergetic și de navigație Porțile de Fier*, nr. 1, p. 39—42.
2. Cosma, Gh.: *Metode și instalații de măsură pentru determinarea caracteristicilor hidroagregatelor*, nr. 3, p. 117—129.
3. Ghitta, L.: *Aparatură pentru controlul barajelor hidrotehnice*, nr. 3, p. 129—131.
4. Pavel, D.: *Avantajele economice ale înlocuirii agregatelor Pelton cu turbine etajate*, nr. 7, p. 289—292.

VI. Energetică nucleară

1. Bercovici, D.: *Folosirea diagramei t — Q la calculul de optimizare a schemelor termice ale CNE*, nr. 1, p. 17—24.
2. Wlezek, C.: *Cercetări privind echiparea energetică a reactoarelor nucleare răcite cu gaze de înaltă temperatură*, nr. 10, p. 434—444.
3. Wlezek, C.: *Dezvoltarea energeticii nucleare în R.F. a Germaniei în ansamblul energeticii nucleare mondiale*, nr. 11, p. 502—511.

VII. Energetică industrială

1. Boța, I.: *Instalații pentru recuperarea căldurii reziduale rezultate din procesele tehnologice ale industriei chimice anorganice*, nr. 2 p. 59—65.
2. Ungureanu, C., Neiss, Fr. și Popovici, M.: *Unele probleme ale proiectării injectoarelor de păcură folosite la cuptoarele rotative de clincăr*, nr. 2, p. 66—71.
3. Crețu, Gh.: *Considerații privind autopornirea motoarelor sincrone de mare putere*, nr. 7, p. 306—314.

VIII. Din exploatare

1. Cionca, B.: *Regimurile de pornire și probleme specifice de exploatare pentru grupurile de 200 MW de la centrala termoelectrică Iernut*, nr. 6, p. 237—240.
2. Istrate, I.: *Considerații asupra modului de determinare și interpretare a frecvențelor dinamice la paletele de turbină*, nr. 6, p. 244—249.
3. Goia, L. M.: *Protecția împotriva tensiunilor accidentale în instalațiile de joasă tensiune*, nr. 9, p. 414—420.
4. Istrate, I.: *Contribuție la echilibrarea rotoarelor turbogeneratoarelor de mare putere*, nr. 11, p. 483—489.

IX. Articole economice și tehnico-organizatorice

1. Gheorghe, Adrian: *Aspecte ale aplicării teoriei șirurilor de așteptare în energetică*, nr. 1, p. 35—39.
2. Mayer, Fr.: *Elaborarea grafului de sinteză al unei investiții energetice*, nr. 2, p. 91—92.
3. Măcriș, A.: *Amplasarea optimă a obiectivelor de organizare de șantier la montarea centralelor termoelectrice (II)*, nr. 4, p. 180—183.
4. Cârlan, M.: *Încadrarea optimă cu personal a echipelor de reparații*, nr. 5, p. 228—234.
5. Bîrsănescu, V.: *Stabilirea unui plan optim de aprovizionare în cadrul activității de construcții și montaj (programare dinamică)*, nr. 6, p. 269—272.
6. Stan, P.: *Aplicarea teoriei actualizării în alegerea lucrărilor de rețele electrice*, nr. 7, p. 315—317.
7. Cârlan, M.: *O metodă euristică de programare a lucrărilor de reparații*, nr. 7, p. 318—321.
8. Papagheorghe, O. și Miron, D.: *Influența costului energiei electrice și a investițiilor în dezvoltarea instalațiilor casnice*, nr. 8, p. 354—357.
9. Măcriș, A.: *O metodă de cercetare operațională cu multiple aplicații: ramificare și frontiere*, nr. 8, p. 369—374 și nr. 11, p. 498—501.
10. Gheorghe, A.: *Considerații asupra regimului de exploatare și dimensionării sistemului benzi transportoare — buncăr de combustibil la o centrală termoelectrică*, nr. 9, p. 420—424.
11. Vlad, Al: *Probleme actuale și perspectiva dezvoltării electroenergeticii*, nr. 10, p. 429—433.
12. Gheorghe, A.: *Centrala termoelectrică — sistem de producție cibernetică*, nr. 12, p. 545—550.

X. Construcții și montaje energetice

1. Măcriș, A.: *Dimensionarea platformelor de preasamblare folosind teoria așteptării*, nr. 1, p. 33—35.
2. Decusară, N. și Perșinaru, V.: *Aspecte de la montajul hidroagregatelor în centrala hidroelectrică Porțile de Fier*, nr. 8, p. 342—349.

XI. Pentru tînărul inginer

1. Zickman, M.: *Nesimetrii de curenți în statorul generatorului trifazat în cazul dispoziției nesimetrice a barelor de legătură între generator și transformatorul ridicător*, nr. 1, p. 24—33.
2. Opriș, C.: *Introducerea sistemului internațional de unități*, nr. 7, p. 322—329.
3. Drăgan, G.: *Utilizarea metodei spectrale pentru studiul propagării undelor de tensiune în cazul unor scheme de protecție contra supratensiunilor atmosferice*, nr. 9, p. 404—407.

XII. Energetica peste hotare

1. Nitu, V. I. și Ionescu, S.: *A treia Conferință de calcul al sistemelor energetice (Power System Computation Conference), Roma, 1969*, nr. 2, p. 93—97.
2. Mihăileanu, C.: *Rezultate și unele orientări în activitatea de producție și cercetare în industria energiei electrice din Anglia*, nr. 6, p. 272—282.
3. Wlezek, C.: *Dezvoltarea energeticii nucleare din R.F. a Germaniei în ansamblul energeticii nucleare mondiale*, nr. 11, p. 502—511.

XIII. Cronică

1. Ostap, C.: *Uzina electrică din Iași la cea de-a 70-a aniversare*, nr. 1, p. 43—44.
2. Lăzăroiu, D.F.: *A doua Conferință a electricienilor*, nr. 1, p. 44—46.
3. Drăgan, G.: *Lucrările sesiunii Blitzschutzkonferenz (Conferința pentru protecția contra trăsnetului)*, nr. 1, p. 46—48.
4. * * * *A opta sesiune plenară a Conferinței Mondiale a Energiei*, București 1971, nr. 1, p. 48—50.
5. * * * *Al patrulea Congres internațional asupra transferului de căldură*, nr. 1, p. 50.
6. Stoika, R.A.: *Sesiunea științifică a Muzeului tehnic „Prof. ing. Dimitrie Leonida"*, nr. 4, p. 183.
7. Croitoru, M.: *Editura tehnică la a 20-a aniversare*, nr. 5, p. 234.
8. Edelstein, M.: *Expoziția britanică de instrumente științifice și medicale*, nr. 5, p. 235.
9. Marcu, M.: *A doua Conferință de motoare cu ardere internă*, nr. 10, p. 473—474.
10. Manolescu, G. și Itoafă, Al: *Simpozionul CEE-ONU privind utilizarea cercetării operaționale în problemele planificării și funcționării marilor sisteme energetice, Varna, 25—27 mai 1970*, nr. 11, p.517—519.
11. Groza, L. *Lucrările celei de-a 23-a sesiuni a Conferinței Internaționale a Marilor Rețele Electrice*, nr. 11, p. 517—519.
12. Drăgan, G.: *A doua Consfătuire: „Coordonarea izolației și protecția împotriva supratensiunilor"*, nr. 12, p. 551—552.

Index alfabetic al autorilor articolelor apărute în „Energetica" vol. 18 (1970)

Albert, H., IV, 32, 39.
Andrei, T., IV, 16.

Bălan, Gh., I, 2.
Bercovici, D., VI, 1.
Bistriceanu, M., IV, 8.
Birsănescu, V., IX, 5.
Bogan, M., IV, 13.
Bogoevici, N., IV, 13.
Boța, I., VII, 1.
Bunea, C., IV, 38.

Carabulea, A., IV, 35.
Cârlan, M., IX, 4, 7.
Cereșanu, C., IV, 3.
Chenzbraun, I., IV, 18.
Cionca, B., III, 1.
Constantinescu, Gh., IV, 7.
Cosma, Gh., V, 2.
Costin, E., II, 1, 37.
Crețu, Gh., IV, 21; VIII, 3.
Cristovici, A., IV, 12.
Crișan, O., IV, 14, 30.
Crivi, M., IV, 20.
Crișnic, T., II, 5.
Croitoru, M., XIII, 7.

Decusară, N., X, 2.
Dimo, P., IV, 24.
Dincă-Panaitescu, M., II, 1.
Drăgan, D., IV, 33.
Drăgan, G., IV, 29; XI, 3; XIII, 3,12.
Drăghici, I., IV, 4.
Duma, M., IV, 38.

Ene, M., IV, 9.
Edelstein, M., XIII, 8.

Focșa, Vl., V, 1.

Gheorghe, A., IX, 1, 10, 12.
Gheorghe, O., IV, 3.
Ghitta, L., V, 3.
Gilbert, A., V, 1.
Giosan, Tr., IV, 36.
Goia, L. M., IV, 31; VIII, 3.
Goldenberg, C., II, 2.
Grigoriu, G., IV, 2.
Gritsch, H., IV, 2.
Groza, L., IV, 25; XIII, 11.
Groza, O., I, 1.

Ionescu, C., III, 14.
Ionescu, S., IV, 27; XII, 1.
Istrate, I., III, 10, 16; VIII, 2, 4.
Itoafă, Al., XIII, 10.
Ivașcu, C., IV, 23.

Jădăneanțu, M., III, 6.

Kelemen, A., IV, 20.

Laszlo, T., IV, 16.
Lăzăroiu, D. F., XIII, 2.
Lup, L., II, 2.

Manolescu, G., II, 1; XIII, 10.
Marcu, M. XIII, 9.
Mayer, Fr., IX, 2.
Măcriș, A., IX, 3, 9; X, 1.
Mihăileanu, C., IV, 16, 17; XII, 2.
Mihoc, D., IV, 20.
Mirescu, D., III, 4.
Miron, D., IX, 8.
Mișu, N., II, 2.
Moraite, G., IV, 3, 26.
Muntean, I., III, 11.

Nabijovici, A., III, 12.
Necșulescu, D., IV, 19.
Neiss, Fr., III, 3.
Nemeș, M., IV, 15.
Nicolae, N., IV, 33.
Nicolau, I., III, 2.
Nicu, Vl., III, 13.
Nitu, V. I., II, 2, 3, 4; III, 28; XII, 1.

Oancea, L., III, 13.
Oancea, N., III, 6, 7.
Opriș, C., XI, 2.
Oprișan, Gh., II, 4.
Ostap, C., XIII, 1.

Panaitescu, G., II, 1.
Papagheorghe, O., IX, 8.
Pavel, D., V, 4.
Pavnotescu, O., III, 4.
Perșinaru, V., X, 2.
Petrescu, A. M., II, 4.
Popa, B., III, 9, 15.
Popescu, A., IV, 12.
Popescu, R., III, 4.
Popovici, M., III, 3.
Popovici, N., IV, 12.
Porțeanu, M., IV, 12.

Radian, V., IV, 5.
Rădulescu, M., III, 1.
Rosinger, E., II, 2.
Rothman, A., IV, 34.

Săndulescu, V., IV, 6.
Staicu, C., III, 18.
Stan, P., IX, 6.
Stanisavlievici, L., III, 18.
Stăncescu, I. D. I, 3.
Stein, M., II, 4.
Stoika, R. A., XIII, 6.
Stroe, G., IV, 8.
Sufrim, M., IV, 19.

Tarnavschi, S., IV, 22.
Trifu, C., II, 4.
Țenescu, M., II, 6.

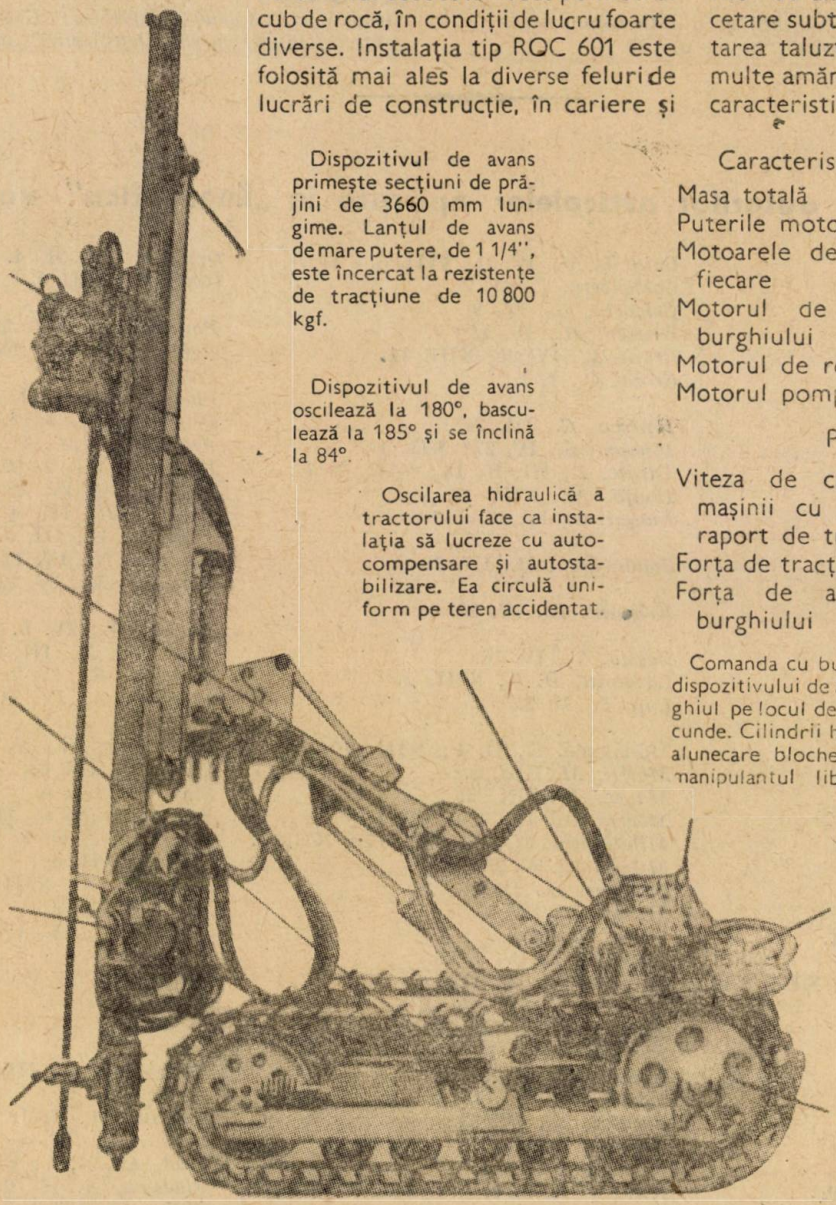
Ungureanu, C., III, 3; VIII, 2.

Vasiliu, Al., V, 1.
Velicu, St., IV, 3.
Vlad, Al., II, 5; IX, 1.
Vlădescu, A., II, 2.
Wlezek, C., VI, 2, 3; XII, 4.

Zickman, M., IV, 1; XI, 1.
Zimand, R., IV, 11.

Instalaţie de foraj universală pe şenile cu caracteristici de execuţie avansate

Instalaţia de foraj pe şenile tip ROC 601 posedă o serie de caracteristici tehnice noi, care fac posibilă obţinerea unui cost total redus pe metrul cub de rocă, în condiţii de lucru foarte diverse. Instalaţia tip ROC 601 este folosită mai ales la diverse feluri de lucrări de construcţie, în cariere şi exploatări miniere. Dar ea este adaptabilă şi pentru alte lucrări, ca săparea unui puţ (sonde), perforarea găurilor de ancore, prospectări de cercetare subterane, perforarea şi injectarea taluzurilor. Citiţi mai jos mai multe amănunte asupra principalelor caracteristici ale acestei maşini.



Burghiul de rocă posedă o mişcare de rotaţie, imprimată de un motor cu piston, cu cuplu motor puternic : 35 kgfm, uşor transformabil pînă la 80 kgfm. Aceasta menţine tăişul burghiului în rotaţie la turaţia optimă, chiar în structuri necompacte şi fărîmate.

Aşezarea în orice poziţie a tractorului şi blocarea instantanee, hidraulică, a frînelor şenilelor. Suportul burghiului se blochează în poziţia dorită, fiind pregătit pentru imediata punere în funcţiune.

Axul pivotant al sistemului oscilant al tractorului este plasat la mijlocul acestuia, nu la capătul din spate al instalaţiei. Această amenajare, combinată cu un centru de greutate jos, măreşte stabilitatea şi siguranţa în exploatare.

Forţa mare de avans a burghiului — 2000 kgf — împinge în jos burghiul cu viteză mare, reduce uzura oţelului burghiului, grăbeşte retragerea ansamblurilor de prăjini grele din găuri adînci

Ghidajul cu deschidere automată al burghiului prinde amanşonul de cuplare la cursa ascendentă a acestuia. Datorită dispozitivului de inversare a rotaţiei, prăjinile sînt strînse şi liberate în cîteva secunde, micşorînd timpii de întrerupere.

Dispozitivul de avans primeşte secţiuni de prăjini de 3660 mm lungime. Lanţul de avans de mare putere, de 1 1/4", este încercat la rezistenţe de tracţiune de 10 800 kgf.

Dispozitivul de avans oscilează la 180°, basculează la 185° şi se înclină la 84°.

Oscilarea hidraulică a tractorului face ca instalaţia să lucreze cu autocompensare şi autostabilizare. Ea circulă uniform pe teren accidentat.

Caracteristici tehnice principale

Masa totală	4380 kg
Puterile motoarelor	
Motoarele de circulaţie, fiecare	7 CP
Motorul de avans al burghiului	5 CP
Motorul de rotire	4,5 CP
Motorul pompei	4,5 CP
Performanţe	
Viteza de circulaţie a maşinii cu compresor raport de transmisie	3,3 km/h
Forţa de tracţiune maximă	4000 kgf
Forţa de avansare a burghiului	2000 kgf

Comanda cu butoane a grinzii şi dispozitivului de avans plasează burghiul pe locul de lucru în cîteva secunde. Cilindrii hidraulici stabili la alunecare blochează de îndată ce manipulantul liberează comenzile.

Motoarele de circulaţie, cu şase cilindri, debitează un cuplu motor foarte mare. Forţa de tracţiune de 4000 kgf face ca instalaţia să poată circula pe terenurile cele mai dificile.

Frînele cu disc automate blochează şenilele de îndată ce manipulantul liberează comenzile de circulaţie.

Gama echipamentelor de exploatări miniere ale firmei Atlas Copco cuprinde : burghie de rocă, instalaţii de foraj complet mecanizate, burghie cu diamant, echipamente cu burghie de oţel, încărcătoare, vinciuri, pompe şi compresoare de toate mărimile.

Atlas Copco

Stockholm, Suedia

Vînzări şi „service" în peste 100 de ţări

Vă rugăm a folosi cuponul detaşabil alăturat pentru a cere şi alte amănunte tehnice.

17/70
PUBLICOM

Către Atlas Copco AB, S-105 23 Stockholm, Suedia

Vă rugăm a ne trimite detalii tehnice privitoare la instalaţia dv ROC 601.

Avem nevoie de aceste informaţii în limba ☐ engleză, ☐ germană, ☐ franceză.

Numele _____

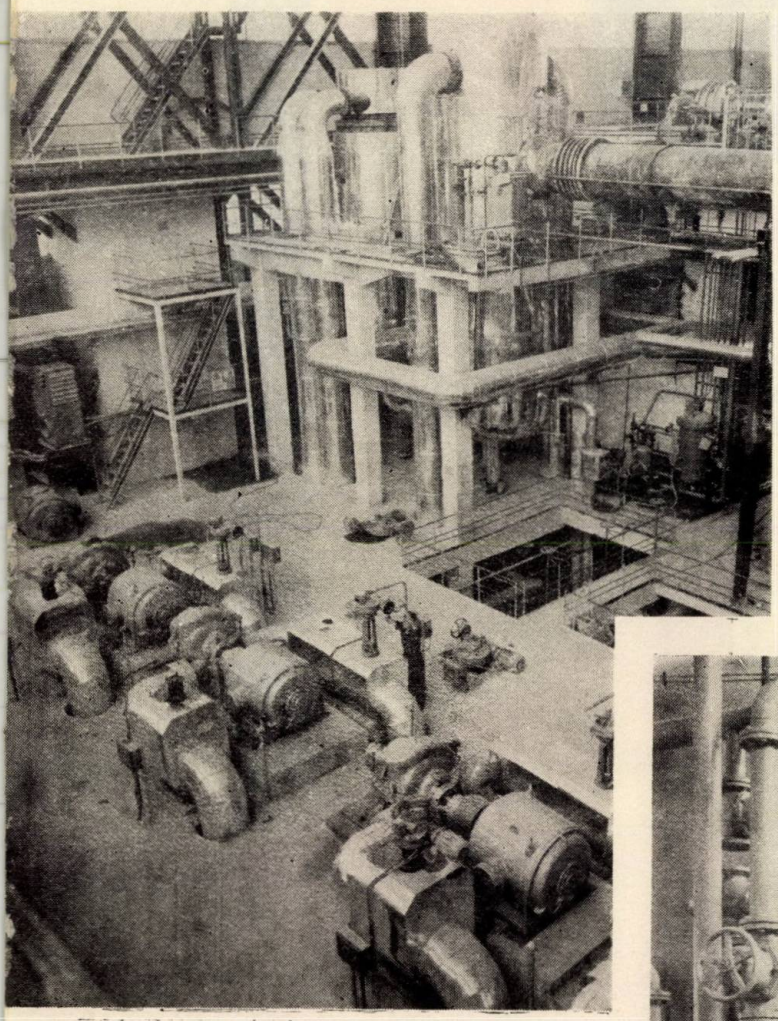
Funcţia _____

Întreprinderea _____

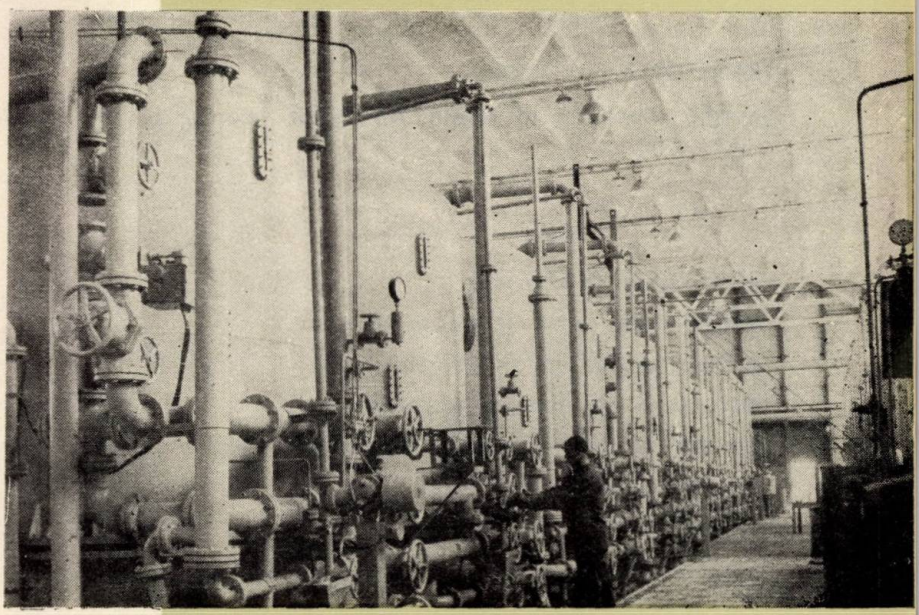
Adresa _____

ÎNTREPRINDEREA

ELECTRO-CENTRALE



- **PRODUCE și FURNIZEAZĂ Combinatului siderurgic Galați ENERGIE ELECTRICĂ și FLUIDE ENERGETICE**
- **PRODUCE și FURNIZEAZĂ sistemului național ENERGIE ELECTRICĂ**
- **PRODUCE și FURNIZEAZĂ APĂ FIERBINTE pentru termoficarea urbană din Galați**
- **Folosește drept combustibil de bază gazul de furnal, produs secundar de ardere de la furnal**

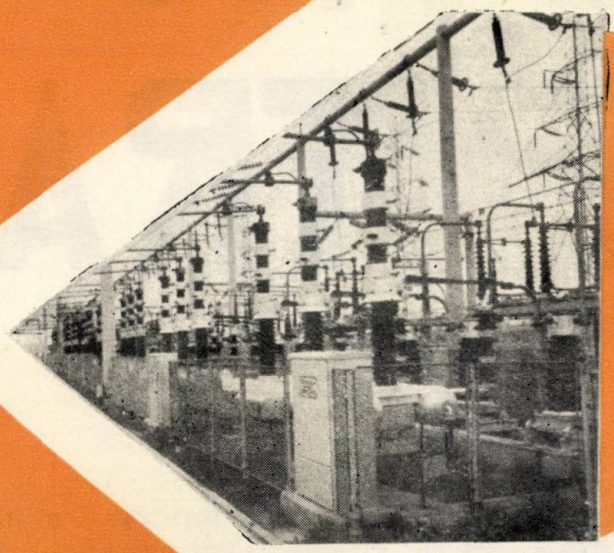


GALAȚI

Str. Gării 8 nr. 6, Jud. Galați

INTREPRINDEREA

de rețele electrice



Constanța

ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE
CONSTANȚA
Str. Anton Nițescu nr. 77

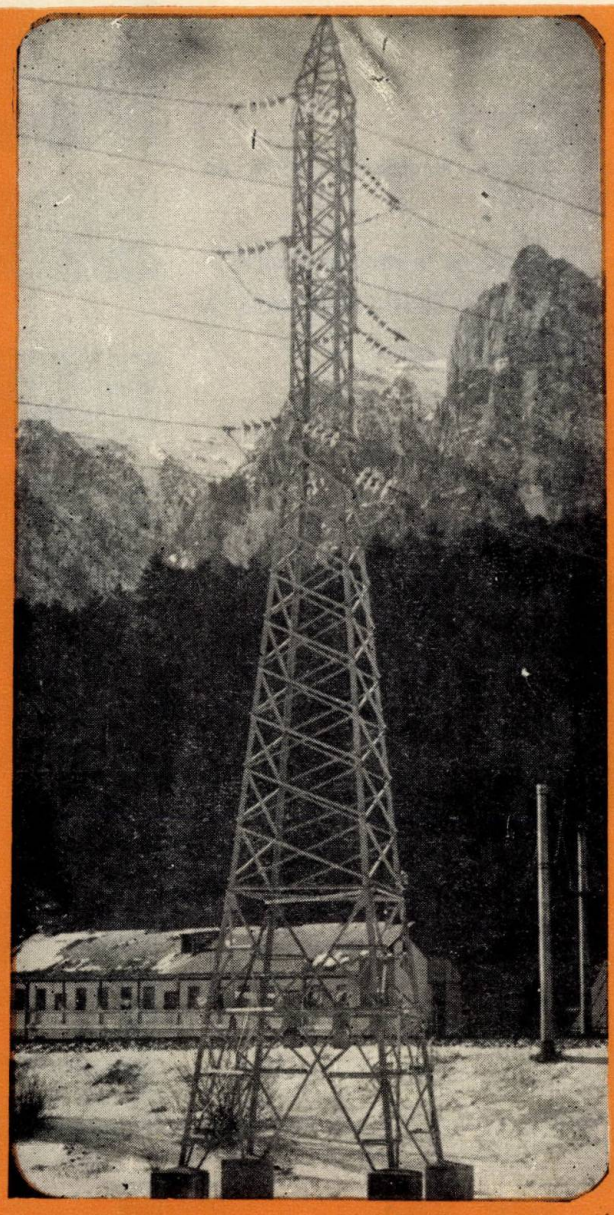
TRANSPORTĂ ȘI DISTRIBUIE:

energie electrică în rețele de înaltă, medie și joasă tensiune

PROIECTEAZĂ ȘI EXECUTĂ

- Rețele de joasă și medie tensiune
- Stații și posturi de transformare
- Instalații de iluminat exterior
- Instalații de electrificare în mediul rural
- Instalații exterioare
- Branșamente

TRUSTUL ELECTROMONTAJ



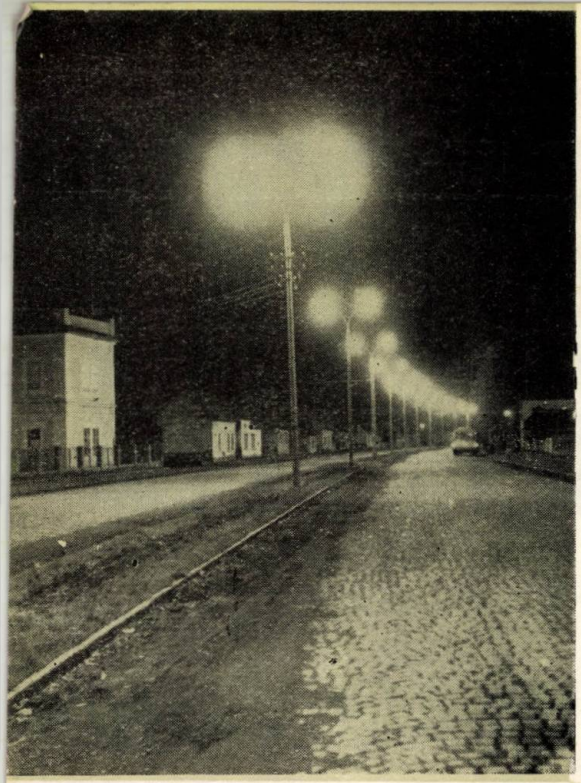
Execută prin unităţile sale de construcţii:

- **Staţii electrice şi posturi de transformare**
- **Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV**
- **Linii electrice de distribuţie**
- **Electrificări rurale**

Produce prin unităţile sale industriale:

- **Stîlpi metalici**
- **Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat**
- **Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat, pretensionaţi**
- **Celule şi panouri pentru centrale şi staţii electrice**
- **Posturi de transformare urbane şi rurale complet prefabricate**
- **Diverse prefabricate pentru centrale electrice, staţii, posturi de transformare şi linii electrice de transport şi distribuţie**

BUCUREŞTI, CALEA MOŞILOR 158,
TELEFON 16.63.30



IRE

IRE

IRE

IRE

IRE

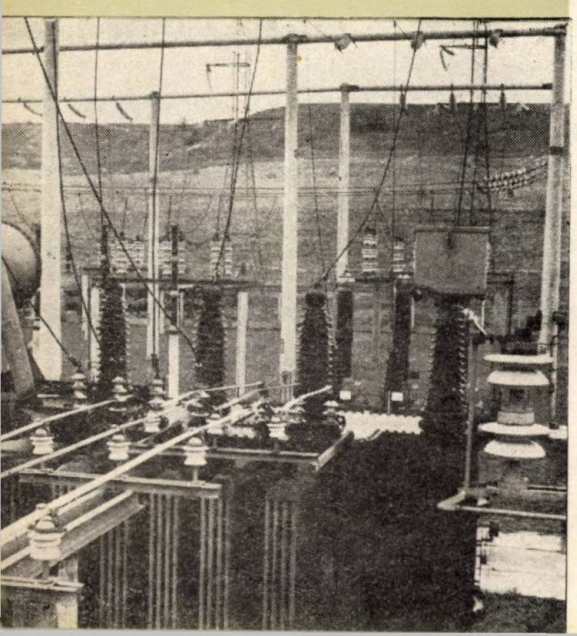
IRE

TG. MUREȘ

Transportă și distribuie energie electrică în rețele de înaltă, medie și joasă tensiune

EXECUTĂ :

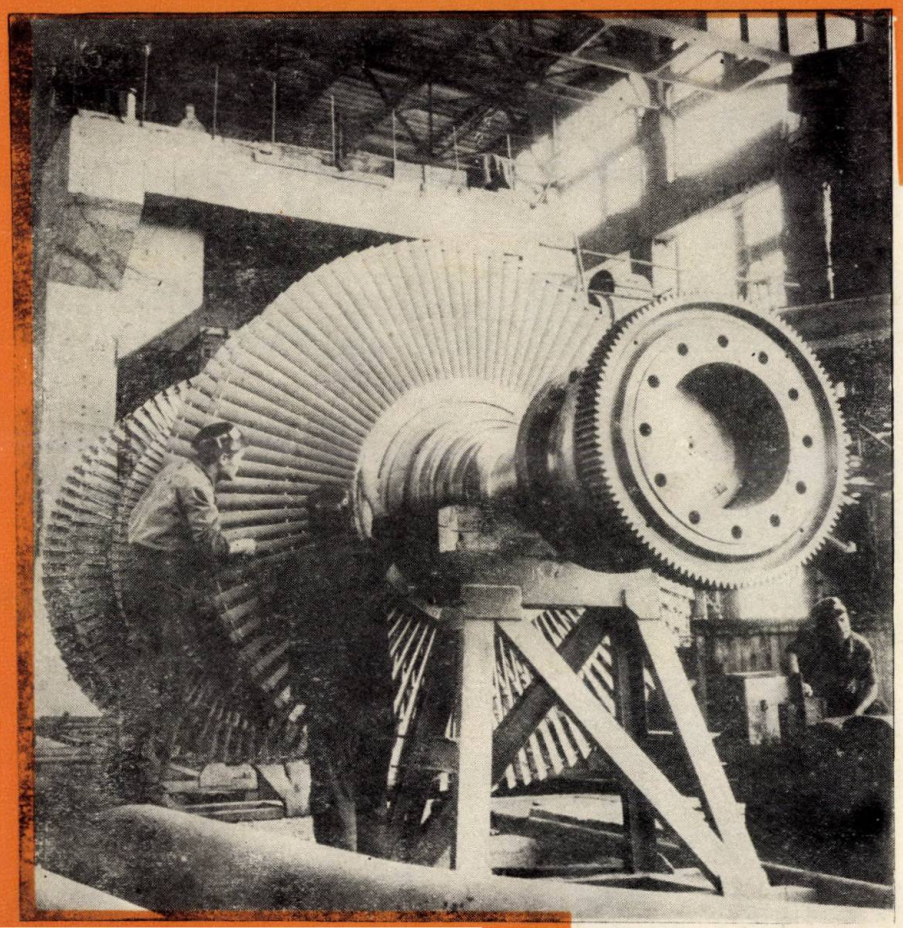
- Verificări de aparate electrice de măsură și control în laboratorul PRAM
- Lucrări de construcții-montaj la electrificări rurale și industriale și instalații interioare
- Lucrări de întreținere la iluminatul public
- Proiecte de instalații energetice



INTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE

TG. MUREȘ Str. Elba nr 5

întreprinderea



electrocentrale

CENTRALA TERMOELECTRICĂ BORZEȘTI

- Centrală de condensație, producătoare de energie electrică, cu o putere instalată de 420 MW
- Inzestrată cu echipament modern, centrala este interconectată la sistemul național, căruia îi furnizează energie electrică

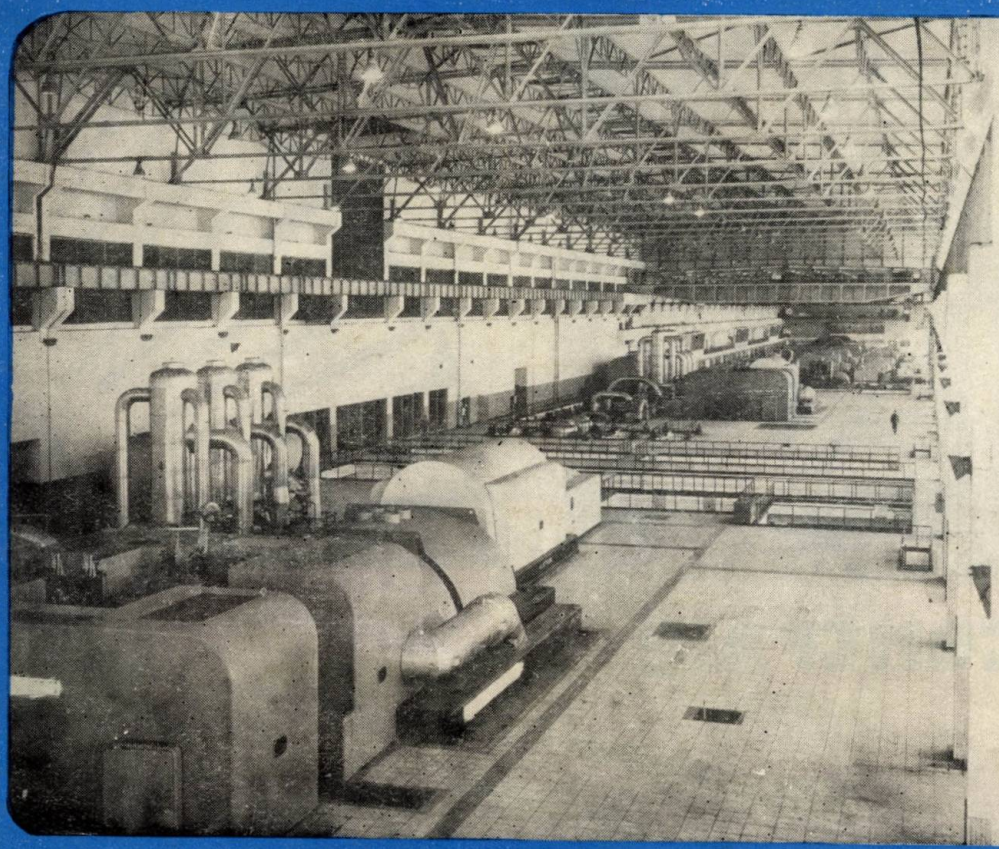
BORZEȘTI

Orașul Gh. Gheorghiu Dej, jud. Bacău

ÎNTREPRINDEREA

Energomontaj

Calea Dorobanţilor nr. 105



EXECUTĂ

LUCRĂRI

DE MONTAJ

PENTRU:

- Compensatoare sincrone
- Instalaţii termomecanice auxiliare ale centralelor termoelectrice şi echipament hidromecanic
- Instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune
- Instalaţii de măsură, control şl automatizare

- Turbine cu abur, de la 6 MW la 315 MW
- Turbine cu gaze
- Turbine hidraulice, de la 5,5 MW la 170 MW
- Cazane de abur cu parametrii ridicaţi:
  - — 500 t abur/h, 215 at, 514 °C
  - — 640 t abur/h, 140 at, 570 °C